



TUGAS AKHIR - SF 141501

**KARAKTERISASI LISTRIK DARI MATERIAL
 $\text{Zn}_{0,8}\text{Mg}_{0,2}\text{TiO}_3$ DENGAN PENAMBAHAN V_2O_5
MENGUNAKAN METODE REAKSI PADAT**

MAYA ANDANSARI
NRP 1111 100 012

Dosen Pembimbing
Prof. Dr. Suasgoro, DEA.

Jurusan Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015



FINAL PROJECT - SF 141501

**ELECTRICAL CHARACTERIZATION OF V_2O_5 DOPED
 $Zn_{0,8}Mg_{0,2}TiO_3$ PREPARED BY SOLID STATE
REACTION**

MAYA ANDANSARI
NRP 1111 100 012

Advisor
Prof. Dr. Suasmoro, DEA.

Department of Physics
Faculty of Mathematics and Natural Science
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2015

**KARAKTERISASI LISTRIK DARI MATERIAL
 $\text{Zn}_{0,8}\text{Mg}_{0,2}\text{TiO}_3$ DENGAN PENAMBAHAN V_2O_5
MENGUNAKAN METODE REAKSI PADAT**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Sains
pada

Bidang Fisika Material
Program Studi S-1 Jurusan Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

MAYA ANDANSARI
NRP 1111100012

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir

Prof. Dr. Suasmoro, DEA.



Surabaya, Juli 2015

KARAKTERISASI LISTRIK DARI MATERIAL $\text{Zn}_{0,8}\text{Mg}_{0,2}\text{TiO}_3$ DENGAN PENAMBAHAN V_2O_5 MENGUNAKAN METODE REAKSI PADAT

Nama : Maya Andansari
NRP : 1111100012
Jurusan : Fisika FMIPA ITS
Pembimbing : Prof. Dr. Suasmoro, DEA.

Abstrak

Material $\text{Zn}_{0,8}\text{Mg}_{0,2}\text{TiO}_3$ telah disintesis menggunakan metode reaksi padat dengan variasi 2 mol% dan 4 mol% V_2O_5 serta suhu sintering 1000°C dan 1100°C selama 4 jam dan 8 jam. Proses kalsinasi dilakukan pada temperatur 800°C untuk menghasilkan fasa tunggal berukuran nanometer. Sinter fasa cair dimaksudkan untuk menurunkan suhu sinter $\text{Zn}_{0,8}\text{Mg}_{0,2}\text{TiO}_3$ dengan aditif 2 mol% V_2O_5 dan 4 mol% V_2O_5 yang mengalami keadaan melting point saat proses sinter terjadi. Dilakukan identifikasi fasa untuk semua sampel yang menghasilkan terbentuknya fasa sekunder TiO_2 dan Zn_2TiO_4 . Penambahan zat aditif V_2O_5 dapat memicu pertumbuhan ukuran butir yang mengakibatkan konstanta dielektrik besar pada daerah polarisasi dipolar. Secara keseluruhan, sampel dengan nilai densitas terbesar memiliki nilai resistivitas dan konstanta dielektrik yang tinggi, sedangkan nilai konduktivitas rendah.

Kata kunci: Dielektrik, polarisasi dipolar, sintering fasa cair

ELECTRICAL CHARACTERIZATION OF V_2O_5 DOPED $Zn_{0,8}Mg_{0,2}TiO_3$ PREPARED BY SOLID STATE REACTION

By : Maya Andansari
Student Identity Number : 1111100012
Advisor : Prof. Dr. Suasmoro, DEA.

Abstract

$Zn_{0,8}Mg_{0,2}TiO_3$ powder was synthesized by solid state reaction method using a variation 2 mol % and 4 mol % V_2O_5 with sintering temperature $1000^{\circ}C$ and $1100^{\circ}C$ for 4 hours and 8 hours. Calcination is carried out at temperature $800^{\circ}C$ to produce a single nanometer sized phase. Liquid phase sintering was used to reduce temperature of sintering $Zn_{0,8}Mg_{0,2}TiO_3$ with the additive 2 mol% V_2O_5 and 4 mol% V_2O_5 that happened in melting point state when process of sintering occurred. The identification phase for all samples that resulted in the formation of secondary phases which is phase Zn_2TiO_4 and Rutile TiO_2 . The addition of additives V_2O_5 produces grain size growth that result in large dielectric constant value on dipolar polarization. Overall, the sample with largest density has high resistivity values and high dielectric constant, however value of conductivity is low.

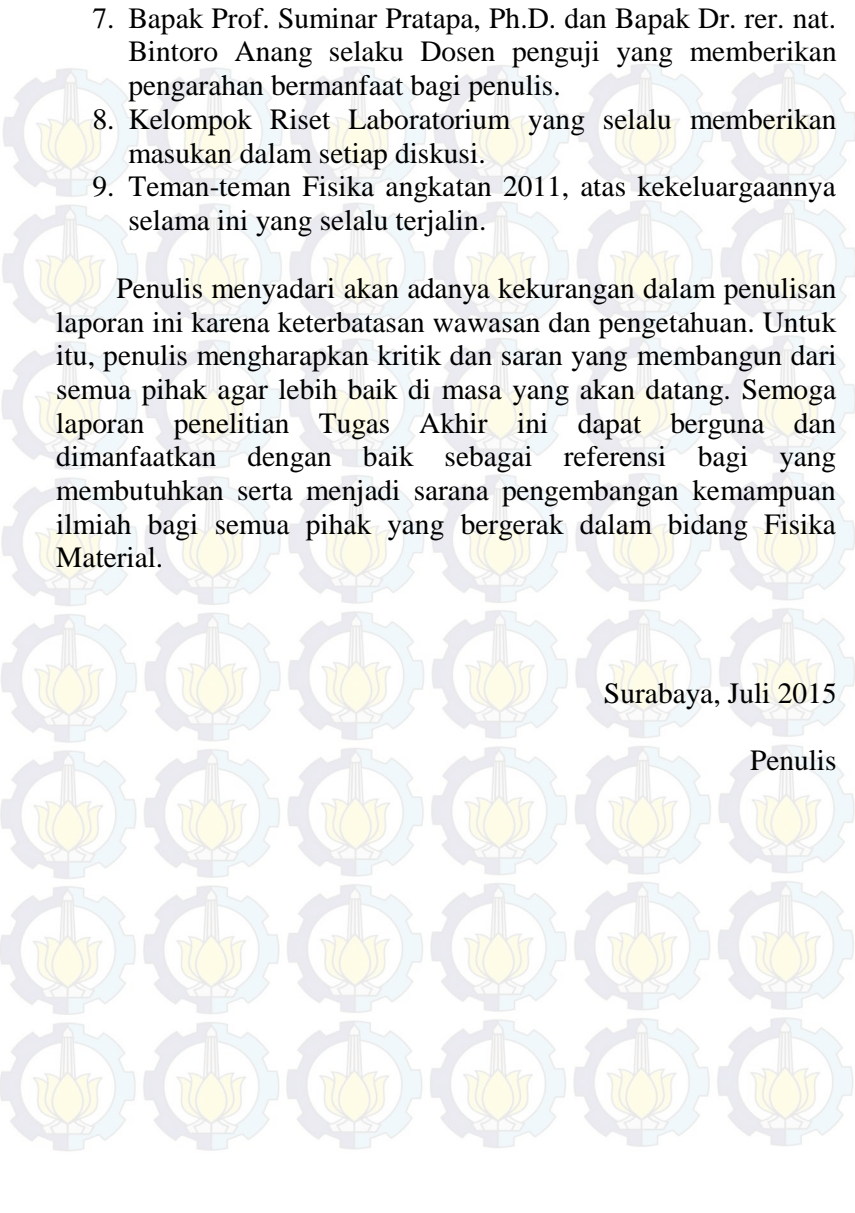
Keywords: Dielectric, dipolar polarization, liquid phase sintering

KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, yang telah melimpahkan rahmat-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir yang berjudul **“Karakterisasi Listrik Dari Material $\text{Zn}_{0,8}\text{Mg}_{0,2}\text{TiO}_3$ Dengan Penambahan V_2O_5 Menggunakan Metode Reaksi Padat”**. Adapun tujuan dari penulisan Tugas Akhir ini adalah sebagai syarat untuk menyelesaikan program studi Strata – 1 di Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Dalam penyusunan laporan Tugas Akhir ini, telah banyak daya, upaya, dan perjuangan yang penulis lakukan. Atas bantuan, dorongan, dan juga bimbingan dari berbagai pihak, akhirnya penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir dengan baik. Sehubungan dengan hal tersebut, maka penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih kepada:

1. Ayahanda dan Ibunda tercinta, Andi Lasiyono dan Endang Imonowati, yang telah memberikan didikan, nasehat, kasih sayang, dan do'a restu.
2. Adik tersayang, Ratna Dwi S dan M. Ravalentin , yang selalu memberikan dukungan.
3. Bapak Prof. Dr. Suasmoro, DEA. selaku dosen pembimbing Tugas Akhir.
4. Bapak Dr. Yono Hadi Pramono, M.Eng, selaku Ketua Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
5. Ibu Faridawati, M.Si, selaku Sekretaris program studi S1 Jurusan Fisika FMIPA ITS.
6. Bapak Ir. Didiek dan Ibu Faridawati, M.Si, selaku dosen wali penulis.

- 
7. Bapak Prof. Suminar Pratapa, Ph.D. dan Bapak Dr. rer. nat. Bintoro Anang selaku Dosen penguji yang memberikan pengarahan bermanfaat bagi penulis.
 8. Kelompok Riset Laboratorium yang selalu memberikan masukan dalam setiap diskusi.
 9. Teman-teman Fisika angkatan 2011, atas keluarganya selama ini yang selalu terjalin.

Penulis menyadari akan adanya kekurangan dalam penulisan laporan ini karena keterbatasan wawasan dan pengetahuan. Untuk itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari semua pihak agar lebih baik di masa yang akan datang. Semoga laporan penelitian Tugas Akhir ini dapat berguna dan dimanfaatkan dengan baik sebagai referensi bagi yang membutuhkan serta menjadi sarana pengembangan kemampuan ilmiah bagi semua pihak yang bergerak dalam bidang Fisika Material.

Surabaya, Juli 2015

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Batasan Masalah/Ruang Lingkup Masalah	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
1.6 Sistematika Penulisan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Zinc Titanat	5
2.2 Vanadium	6
2.3 Sintering (<i>Sinter</i>)	7
2.4 Sifat Dielektrik Material	10
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Alat dan Bahan	13
3.2 Prosedur Eksperimen	13
3.2.1 Sintesis $\text{Zn}_{0,8}\text{Mg}_{0,3}\text{TiO}_3$	13
3.2.2 Sintesis ZnTiO_3 dengan menambahkan V_2O_5	14
3.2.3 Uji Sinar X	14
3.2.4 Pengukuran Densitas dan Porositas	14
3.2.5 Pengamatan Struktur Mikro	15

3.2.6 Karakterisasi Sifat Dilektrik	15
3.3 Diagram Alir Penelitian	16

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Sintesis Fasa Tunggal $\text{Zn}_{0,8}\text{Mg}_{0,2}\text{TiO}_3$	17
4.2 Densifikasi	18
4.3 Kajian Fenomena Penyusutan	20
4.4 Karakterisasi Struktur Mikro	26
4.5 Sifat Dielektrik	27

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan	37
5.2 Saran	37

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN	41
-----------------	----

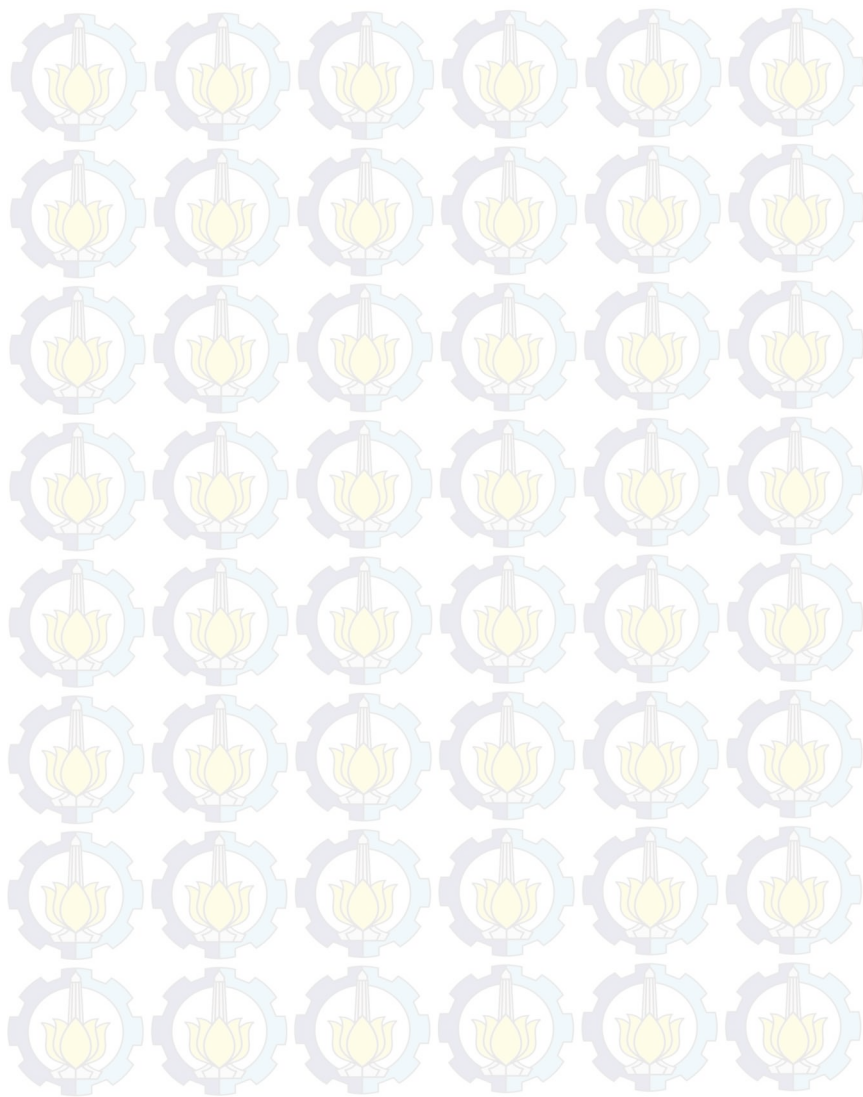
BIODATA PENULIS	61
------------------------	----

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A	Data ICSD	41
Lampiran B	Penghalusan <i>Rietveld</i> dengan Perangkat Lunak <i>Rietica</i> Sampel ZnTiO_3	47

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Struktur ZnTiO_3	6
Gambar 2.2	Struktur Vanadium Oxide	7
Gambar 2.3	Sketsa model dua bola ideal perbandingan struktur mikro dari sintering fasa padat dan fasa cair	8
Gambar 2.4	Skema evolusi padatan selama sintering fasa cair	9
Gambar 2.5	Variasi (a)konstanta dielektrik dan (b) dielktrik loss terhadap frekuensi	11
Gambar 3.1	Diagram alir eksperimen	16
Gambar 4.1	Pola difraksi sinar X dari sampel yang dikalsinasi	17
Gambar 4.2	Densitas <i>Bulk</i> sampel ZnTiO_3 untuk berbagai suhu sinter dan zat aditif	19
Gambar 4.3	Pola difraksi sinar X dari sampel bentuk <i>pellet disk</i> sintering 1000°C	22
Gambar 4.4	Pola difraksi sinar X dari sampel bentuk <i>pellet disk</i> sintering 1100°C	25
Gambar 4.5	Struktur mikro melalui foto SEM sampel ZnTiO_3 sinter 1000°C selama 8 jam (a) tanpa penambahan aditif ; (b) penambahan 2 mol% V_2O_5	26
Gambar 4.6	Distribusi ukuran partikel sampel ZnTiO_3 sinter 1000°C selama 8 jam tanpa penambahan aditif dan penambahan 2 mol% V_2O_5	27
Gambar 4.7	Hubungan antara konstanta dielektrik terhadap frekuensi dengan suhu sinter 1000°C	30
Gambar 4.8	Hubungan antara konstanta dielektrik terhadap frekuensi dengan suhu sinter 1100°C	31
Gambar 4.9	Hubungan tan delta terhadap frekuensi dengan suhu sinter 1000°C	34
Gambar 4.10	Hubungan tan delta terhadap frekuensi dengan suhu sinter 1100°C	35



DAFTAR TABEL

Tabel 4.1	Tabel 4.1. Hasil analisa <i>Rietveld</i> sampel sintering 1000°C selama 8 jam	22
Tabel 4.2	Tabel 4.2. Hasil analisa <i>Rietveld</i> sampel sintering 1100°C	25
Tabel 4.3	Rekap data uji listrik pada sampel ZnTiO ₃ murni maupun dengan penambahan aditif V ₂ O ₅ sintering 1000°C	32
Tabel 4.4	Rekap data uji listrik pada sampel ZnTiO ₃ murni maupun dengan penambahan aditif V ₂ O ₅ sintering 1100°C	33

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

ZnTiO₃ dikenal dengan nama Ecandrewsite merupakan salah satu fasa Zinc Titanat yang berstruktur *ilmenite* (ZnTiO₃) dengan *space group* R-3 (148). ZnTiO₃ memiliki konstanta dielektrik $\epsilon_r \sim 19$, koefisien temperatur τ_f rendah, nilai faktor kualitas $Q_f \sim 3000$ pada frekuensi 10 GHz (Ming-Ling et al, 2007).

Aplikasi material dielektrik pada daerah kerja gelombang mikro harus memenuhi spesifikasi yaitu konstanta dielektrik (ϵ_r) yang tinggi sehingga mampu dilakukan miniaturisasi komponen, nilai faktor kualitas (Q_f) yang tinggi agar mampu meningkatkan rasio frekuensi terhadap *noise* dan koefisien temperatur (τ_f) pada frekuensi resonansi rendah sebagai penentu stabilitas frekuensi transmisi (Zhang et al., 2012). Spesifikasi yang sudah diuraikan tersebut diperlukan untuk perangkat microwave. Permittivitas tinggi suatu material sering digunakan sebagai bahan untuk microstrip baris dan pandu coplanar pada sirkuit microwave. Sebuah konstanta dielektrik yang tinggi memungkinkan resonator dielektrik lebih kecil, hal ini dikarenakan ukuran fisik dari perangkat microwave berbanding terbalik dengan konstanta dielektrik. Variasi suhu rendah dari frekuensi resonansi material diperlukan agar komponen microwave tetap stabil selama suhu pemanasan terjadi. ZnTiO₃ dengan konstanta dielektrik yang tinggi dan koefisien suhu rendah dari frekuensi resonansi merupakan material yang sangat baik untuk resonator dielektrik dan filter dalam perangkat microwave (Ming-Liang et al., 2007).

Permasalahan yang dihadapi dalam aplikasi ZnTiO₃ sebagai material dengan dielektrik gelombang mikro adalah suhu sinter mencapai 1300°C (Yuh-Ruey Wang et al., 2001). Tingginya suhu sinter mengakibatkan ukuran butir materialnya dipastikan berorde mikrometer walaupun partikel bubuk kalsinasi awalnya berorde nanometer. Untuk mereduksi suhu sinter terdapat tiga cara yang dapat dilakukan yaitu: (1) menambahkan dopan yang memiliki

titik leleh yang lebih rendah ke dalam *host* material (Huang and Weng, 2001, Huang et al., 2003, Hsieh et al., 2008) (2) proses sintesis secara kimia yang dapat memperkecil ukuran partikel material (Surendran et al., 2008, Wang et al., 2012, Istihanah, 2011) (3) mencari material baru yang memiliki suhu sintering rendah (normalnya dibawah 1000°C) (Wang et al., 2005).

Telah dilaporkan bahwa ZnTiO_3 murni terbentuk pada suhu kalsinasi 800°C , meskipun demikian suhu sinter yang diperlukan agar densitas relatif lebih dari 90% adalah 1300°C sehingga ukuran butir tumbuh menjadi berorde mikro dengan $\epsilon_r = 19$ (Ming-Liang Hsieh et al., 2013). Agar ukuran pertumbuhan butir tidak signifikan maka suhu sinter harus diturunkan sehingga terjadi peningkatan konstanta dielektrik material (Hsiang et al., 2001). Oleh sebab itu penelitian untuk menurunkan suhu sinter ZnTiO_3 harus dilakukan agar dapat dilakukan perbaikan karakteristik sifat dielektrik.

1.2 Rumusan Masalah

Suhu sintering material keramik dapat diturunkan dengan menambahkan oksida maupun *glass* pada material tersebut. Usaha yang akan dilakukan dalam penelitian ini adalah menambahkan oksida V_2O_5 ke dalam sampel $\text{Zn}_{0,8}\text{Mg}_{0,2}\text{TiO}_3$ berorde nanometer, masing-masing sebanyak 2 mol% dan 4 mol%, sehingga diketahui :

1. Bagaimana densifikasi sampel $\text{Zn}_{1-x}\text{Mg}_x\text{TiO}_3$ ($x=2$) dengan penambahan 2 mol % dan 4 mol % V_2O_5 ?
2. Bagaimana struktur mikro pada sampel $\text{Zn}_{1-x}\text{Mg}_x\text{TiO}_3$ ($x=2$) murni maupun dengan aditif V_2O_5 ?
3. Bagaimana karakteristik sifat dielektrik pada frekuensi 1 Hz – 32 MHz?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Membuat sampel $\text{Zn}_{1-x}\text{Mg}_x\text{TiO}_3$ ($x=2$) murni maupun dengan penambahan 2 mol % dan 4 mol % V_2O_5 .

2. Mengetahui densifikasi sampel $\text{Zn}_{1-x}\text{Mg}_x\text{TiO}_3$ ($x=2$) dengan penambahan 2 mol % dan 4 mol % V_2O_5 .
3. Mempelajari struktur mikro dari sampel $\text{Zn}_{1-x}\text{Mg}_x\text{TiO}_3$ ($x=2$) murni maupun dengan aditif V_2O_5 .
4. Mempelajari karakteristik sifat dielektrik sampel $\text{Zn}_{1-x}\text{Mg}_x\text{TiO}_3$ ($x=2$) murni maupun dengan aditif V_2O_5 pada frekuensi 1 Hz – 32 MHz

1.4 Batasan Masalah/Ruang Lingkup Masalah

Batasan masalah dari penelitian tugas akhir ini adalah metode yang digunakan untuk sintesis yaitu metode reaksi padat menggunakan software *Rietica* dan *Match!*.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian tugas akhir ini adalah untuk memberikan informasi tentang penurunan suhu sintering pada bahan $\text{Zn}_{0,8}\text{Mg}_{0,2}\text{TiO}_3$ dengan menggunakan variasi doping V_2O_5 . Selain itu, dari penelitian ini diharapkan dapat diketahui efek penambahan aditif V_2O_5 pada densifikasi serta sifat dielektrik $\text{Zn}_{0,8}\text{Mg}_{0,2}\text{TiO}_3$.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan laporan tugas akhir ini dapat diuraikan sebagai berikut.

1. Bab I – Pendahuluan, berisi uraian mengenai latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan laporan penelitian.
2. Bab II – Tinjauan Pustaka, berisi uraian mengenai teori yang mendukung analisis.
3. Bab III – Metodologi Penelitian, berisi uraian mengenai alat dan bahan yang digunakan serta tahapan-tahapan yang dilakukan selama penelitian.

4. Bab IV – Analisa Data dan Pembahasan, berisi uraian pembahasan mengenai hasil yang diperoleh dari penelitian melalui beberapa pengujian.
5. Bab V – Penutup, berisi uraian mengenai kesimpulan dari hasil analisa data dan pembahasan serta saran-saran yang diberikan untuk mendukung penelitian selanjutnya.
6. Lampiran, berisi data ICSD material dan hasil analisa menggunakan *software Rietica*.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

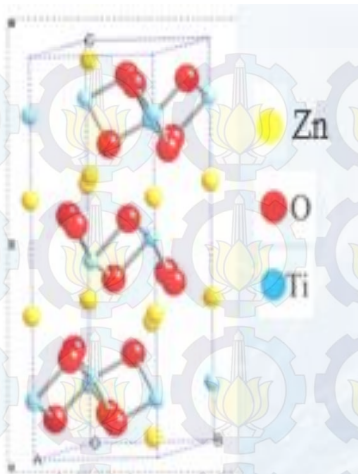
2.1 Zinc Titanat

Zinc Titanium Oksida adalah sebuah senyawa kimia dari Zinc, Titanium, dan Oksigen dengan rumus kimia ZnTiO_3 . Dalam hal ini ZnTiO_3 memiliki mineral *Ecandrewsite*. Zinc Titanat mempunyai banyak aplikasi menarik pada gelombang mikro, hal ini berkaitan dengan sifat dielektrik bahan. ZnTiO_3 dimanfaatkan sebagai kapasitor frekuensi tinggi, kapasitor kompensasi suhu, chip kapasitor, *resonator*, *filter*, antena komunikasi, radar, pengatur satelit *broadcasting*.

ZnTiO_3 merupakan salah satu fasa Zinc Titanat yang berstruktur *Ilmenite*. ZnTiO_3 (heksagonal), Zn_2TiO_4 (kubik), $\text{Zn}_2\text{Ti}_3\text{O}_8$ (kubik) merupakan tiga senyawa yang ada dalam sistem ZnO-TiO_2 . $\text{Zn}_2\text{Ti}_3\text{O}_8$ merupakan bentuk suhu rendah ZnTiO_3 yang ada dibawah suhu 820°C , sedangkan dekomposisi ZnTiO_3 ke Zn_2TiO_4 dan TiO_2 (*Rutile*) berada pada suhu sekitar 945°C . Namun, Kim et al. menemukan bahwa suhu dekomposisi ZnTiO_3 fasa bervariasi dengan menambahkan doping.

ZnTiO_3 memiliki nama mineral *Ecandrewsite* dengan space group R-3 (148). Parameter kisi dari ZnTiO_3 masing-masing $a = b = 5,0787 \text{ \AA}$, $c = 13,898 \text{ \AA}$. ZnTiO_3 memiliki konstanta dielektrik $\epsilon_r \sim 19$, koefisien temperature τ_f rendah dan mendekati nol, dan nilai factor quality $Q_f \sim 3.000$ pada frekuensi 10 Ghz (Ming-Liang, et al. 2007).

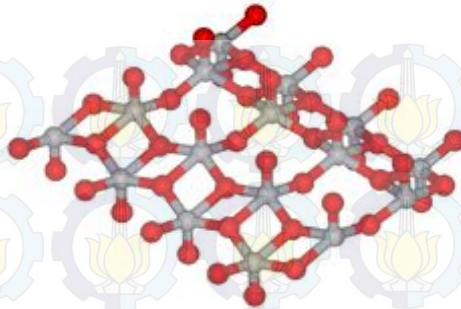
Beberapa sintesis ZnTiO_3 yang telah dilakukan diantaranya metode sol-gel (Liqu Wang, et al., 2008; You-Hua Yu, et al., 2011), metode solid state reaction (Yuh-Ruey, et al., 2004; Ming-Liang, et al., 2007; Ying-Chieh Lee, et al., 2011). Sintesis dalam orde nano dapat dihasilkan melalui metode sol-gel dan metode solid state reaction.



Gambar 2.1. Struktur ZnTiO_3 <http://www.crystallmaker.com>)

2.2 Vanadium

Vanadium (V) oxide (vanadia) adalah senyawa bukan organik dengan formula V_2O_5 . Biasanya disebut juga dengan Vanadium Pentoksida ini berwarna kuning agak orange. Massa molekul nya sebesar 181,88 g/mol dengan densitas sebesar 3,357 g/mol. Titik leleh sebesar 690°C dan titik didih mencapai 1750°C . Struktur Kristal bahan ini adalah orthorhombic dengan konstanta kisi sebesar $a = 1151 \text{ pm}$, $b = 355,9 \text{ pm}$, dan $c = 437,1 \text{ pm}$ serta memiliki jari-jari $0,054 \text{ \AA}$. Dalam hal ini V_2O_5 dapat berperan sebagai fasa cair dan pendopingan.



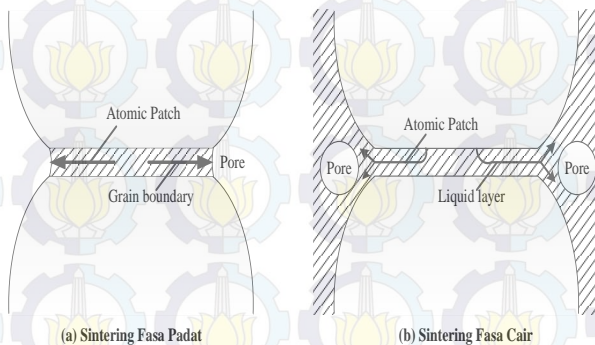
Gambar 2.2. Struktur Vanadium Oxide

2.3 Sintering (Sinter)

Sinter merupakan proses pemanasan pada suhu tinggi pada material keramik yang bertujuan untuk menurunkan energi bebas, menaikkan kohesi antar partikel-partikel penyusun material sehingga terjadi pemadatan melalui eliminasi porositas serta terjadi perubahan ukuran butir (Chiang *et al.*, 1996).

Berdasarkan kehadiran fasa cair selama proses berlangsung, *sintering* dibedakan menjadi *sintering* fasa padat (*solid phase sintering*) dan *sintering* fasa cair (*liquid phase sintering*) (Boch dan Nièpce, 2007). Dibandingkan dengan sinter fasa padat, kehadiran fasa cair menyebabkan peningkatan densifikasi melalui (1) meningkatkan penataan partikel-partikel padat dan (2) meningkatkan transportasi materi melalui cairan. Gambar 2.3 menunjukkan sketsa dari model dua bola ideal di mana aspek mikrostruktur sinter fasa cair dibandingkan dengan sinter fasa padat. Dalam sinter fasa cair, fasa cair membasahi dan menyebar untuk menutupi permukaan padat, partikel akan dipisahkan oleh sebuah *liquid bridge*. Gesekan antara partikel berkurang secara signifikan sehingga mereka dapat mengatur ulang lebih mudah dalam akibat adanya tekanan kapilaritas yang diberikan oleh cairan. Dalam sintering fasa padat misalnya, difusi batas butir, parameter penting yang mengontrol laju difusi adalah produk dari koefisien difusi batas butir D_{gb} dan ketebalan batas butir δ_{gb} .

Dalam fase cair sintering, yang sesuai parameter adalah koefisien difusi D_L dari atom terlarut dalam cairan dan ketebalan *liquid bridge* δ_L . Karena δ_L biasanya banyak kali lebih besar dari δ_{gb} dan difusi melalui cairan jauh lebih cepat daripada dalam padatan, oleh karena itu cairan memberikan jalan untuk peningkatan transportasi materi.

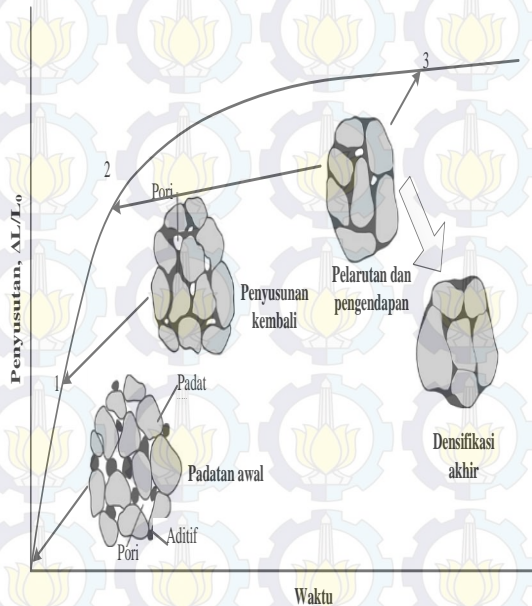


Gambar 2.3. Sketsa model dua bola ideal perbandingan struktur mikro dari (a) Sintering fasa padat (b) Sintering fasa cair (Rahaman, 2003)

Sinter fasa padat merupakan sinter yang diberikan kepada material tanpa kehadiran fasa cair. Proses ini membutuhkan ukuran partikel yang halus (orde micrometer), dan umumnya setelah proses sintering terjadi butir polikristal lebih besar dari bubuk awalnya. Tahapan proses sinter meliputi (1) penyusunan kembali (*rearrangement*) untuk mempertinggi jumlah antar partikel dan pembentukan *neck*. (2) ukuran neck antar bulir tumbuh dan porositasnya menurun, pada tahapan ini butir mulai tumbuh (*grain growth*). (3) eliminasi porositas melalui difusi antar butir dan pertumbuhan bulir (Reed, 1995).

Sinter fasa cair adalah metode sinter dengan adanya kehadiran fasa cair dengan titik leleh lebih rendah daripada material yang akan disinter. Dalam pengertian lain, sintering fasa cair adalah salah satu metode yang dilakukan untuk menurunkan suhu sinter yaitu dengan cara menambahkan material dengan titik

lebih rendah atau dengan kata lain pada saat proses sinter berlangsung zat aditif telah berada dalam keadaan fasa cair.



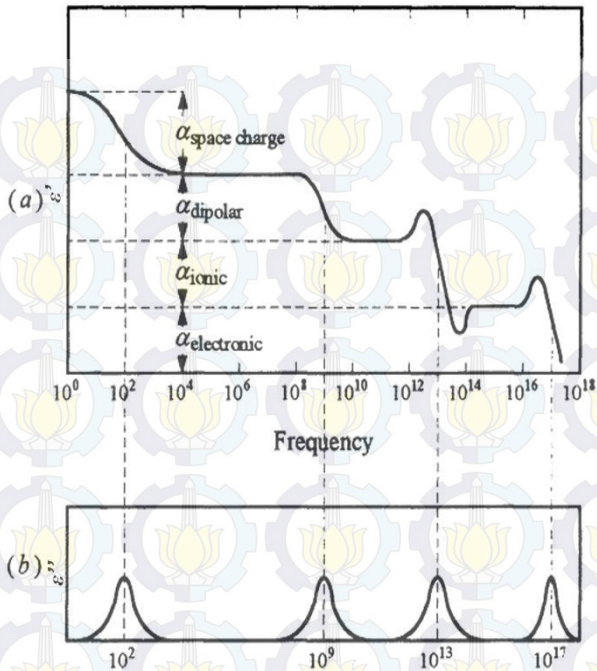
Gambar 2.4. Skema evolusi padatan selama sinterring fasa cair (Rahaman, 2003)

Selama tahap penyusutan kembali, densifikasi berasal dari penyusutan posisi antar partikel bersamaan dengan munculnya fasa cair. Selama tahap pelarutan dan pengendapan, butir-butir berukuran kecil larut ke dalam fasa cair, bermigrasi melalui fasa cair dan kemudian mengendap di permukaan butir berukuran besar, penyusutan dimensional.

Pada tahap penggabungan, butir yang satu bergabung dengan yang lain sehingga terjadi adalah pertumbuhan butir, dalam beberapa kasus tumbuh secara tidak normal, sehingga dalam tahap ini praktis tidak teramati adanya penyusutan.

2.4 Sifat Dielektrik Material

Elektron-elektron dalam material yang tergolong dalam bahan dielektrik cenderung terikat sangat kuat sehingga meskipun diberikan medan listrik, elektron bebas tidak akan terbentuk hingga pada batas tertentu, kemampuan inilah yang disebut sebagai permitivitas bahan dielektrik. Jika medan listrik luar yang diberikan pada material ini maka terjadi pergeseran muatan negative melawan arah medan listrik yang diberikan dan sebaliknya untuk muatan positif sehingga membentuk dipol yang dikenal sebagai peristiwa polarisasi. Polarisasi yang terjadi pada bahan dielektrik bergantung pada frekuensi yang diterapkan padanya. Beberapa kemungkinan polarisasi yang terjadi yaitu polarisasi atomik, polarisasi ionik, polarisasi dipolar, dan polarisasi muatan ruang (Gambar 2.5a). Dalam penelitian ini, lebih difokuskan pada polarisasi *space charge* dan dipolar. Dimana polarisasi *space charge* adalah polarisasi yang berasal dari muatan bergerak dikarenakan terhalangi batas butir. Sedangkan polarisasi dipolar adalah polarisasi yang terjadi akibat perubahan orientasi dari dipol permanen karena medan listrik. Gambar 2.5(a) menunjukkan menyatakan respon polarisasi yang terjadi bahan dielektrik yang bergantung pada perubahan frekuensi. Gambar 2.5(b) menyajikan puncak-puncak *debye* dengan berbagai frekuensi relaksasi untuk masing-masing polarisasi.



Gambar 2.5. Variasi (a) konstanta dielektrik (ϵ') dan (b) dielektrik loss (ϵ'') terhadap frekuensi (Barsoum, 2003)



BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain seperangkat Gelas beaker, Timbangan digital *O'haus PA214*, Tisu, Mortar, Spatula, Furnace *Carbolite*, Difraktometer Sinar X *Philips*, SEM-EDX *EVO® MA10*, *Impedance Analyzer Solatron SI 1260*, *Planetary Ball Mill Pulverisette 5*, Perangkat Lunak *Reitica* dan *Match 2*.

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini berupa serbuk Titanium Dioxide (TiO_2) (Merck, >99%), serbuk Magnesium Oxide (MgO) (Merck, >97%), serbuk Zinc Oxide (ZnO) (Merck, >99%), serbuk Vanadium Oxide (V_2O_5) (Aldrich, 99%), Silver Conductive Paste (Ag) (Aldrich, 735825) dan alkohol 96%.

3.2 Prosedur Eksperimen

3.2.1 Sintesis $\text{Zn}_{0,8}\text{Mg}_{0,2}\text{TiO}_3$

Sebelum dilakukan sintesis, bahan ZnO , MgO , dan TiO_2 dipanasi terlebih dahulu. Hal ini bertujuan untuk menghilangkan kandungan air yang terdapat didalamnya. Dimana ZnO dan TiO_2 dipanasi pada temperatur 110°C selama 10 menit, sedangkan MgO dipanasi dengan temperature 600°C selama 15 menit. Serbuk hasil pemanasan disintesis menggunakan metode *solid state reaction*. Untuk mendapatkan fasa tunggal $\text{Zn}_{0,8}\text{Mg}_{0,2}\text{TiO}_3$ prekursor ditimbang dengan perbandingan (ZnO , MgO) : TiO_2 = 1,004 : 1. Lalu menambahkan 25,533 ml alkohol kedalam campuran bahan tersebut. Serta memasukkan bola ZrO_2 dengan perbandingan masaa bola alumina : massa serbuk $\text{ZnO}+\text{MgO}+\text{TiO}_2$ adalah 76,599 gr : 15,319 gr. Selanjutnya, dilakukan proses penggilingan dengan *Planetary Ball Mill* selama 4 jam dengan kecepatan 250 rpm. Larutan dari ketiga campuran bahan hasil penggilingan di evaporasi untuk menghilangkan alkohol yang terdapat didalamnya. Larutan yang telah kering digerus

menggunakan mortar dan dikalsinasi mulai dari suhu 300°C, 400°C, 650°C, 800°C, 950°C selama 2 jam. Kemudian semua serbuk hasil kalsinasi dilakukan uji XRD untuk mendapatkan fase tunggal ZnTiO₃.

3.2.2 Sintesis Zn_{0,8}Mg_{0,2}TiO₃ dengan menambahkan V₂O₅

Dari sintesis Zn_{0,8}Mg_{0,2}TiO₃ didapatkan data bahwa fasa tunggal ZnTiO₃ terbentuk pada suhu 800°C. Diketahui bahwa ZnTiO₃ memiliki suhu sintering mencapai 1300°C. Untuk mereduksi suhu sintering dari bahan tersebut, maka dilakukan penambahan dopan yang memiliki titik leleh yang lebih rendah ke dalam *host* material. Dalam hal ini bahan yang dipilih adalah Vanadium Oxide (V₂O₅). Pada sintesis ini dilakukan penambahan 2 mol% dan 4 mol% V₂O₅. Setelah itu, dilakukan proses penggilingan dengan *Planetary Ball Mill* selama 1 jam dengan kecepatan 125 rpm.

3.2.3 Uji Sinar X

Serbuk hasil sintesis dipadatkan membentuk disk kemudian disinter pada suhu 1000°C dan 1100°C dengan waktu tahan 4 jam dan 8 jam. Semua Sampel yang telah disinter dilakukan uji difraksi sinar X. Fasa-fasa yang terbentuk pada pola difraksi sinar X dianalisis secara kualitatif dengan perangkat lunak *Match2* untuk mengetahui fasa-fasa yang terbentuk serta dilakukan analisis *reitveld* untuk menentukan komposisi fasa secara kuantitatif dengan perangkat lunak *rietica*.

3.2.4 Pengukuran Densitas dan Porositas

Seluruh sampel yang telah disintering dilakukan pengukuran *bulk density* (ρ_b) dengan metode Archimedes. Langkah yang dilakukan adalah menimbang massa kering sampel (m_{kering}) kemudian mencelupkannya ke dalam air dimana massa yang terukur dicatat sebagai massa saturasi (m_{saturasi}). Sampel kemudian diangkat, dikeringkan dengan tisu lalu ditimbang dicatat sebagai

massa basah (m_{basah}) dengan densitas dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$\rho_b = \frac{m_{\text{kering}}}{m_{\text{basah}} - m_{\text{saturasi}}} \times \rho_{\text{air}} \quad (3.1)$$

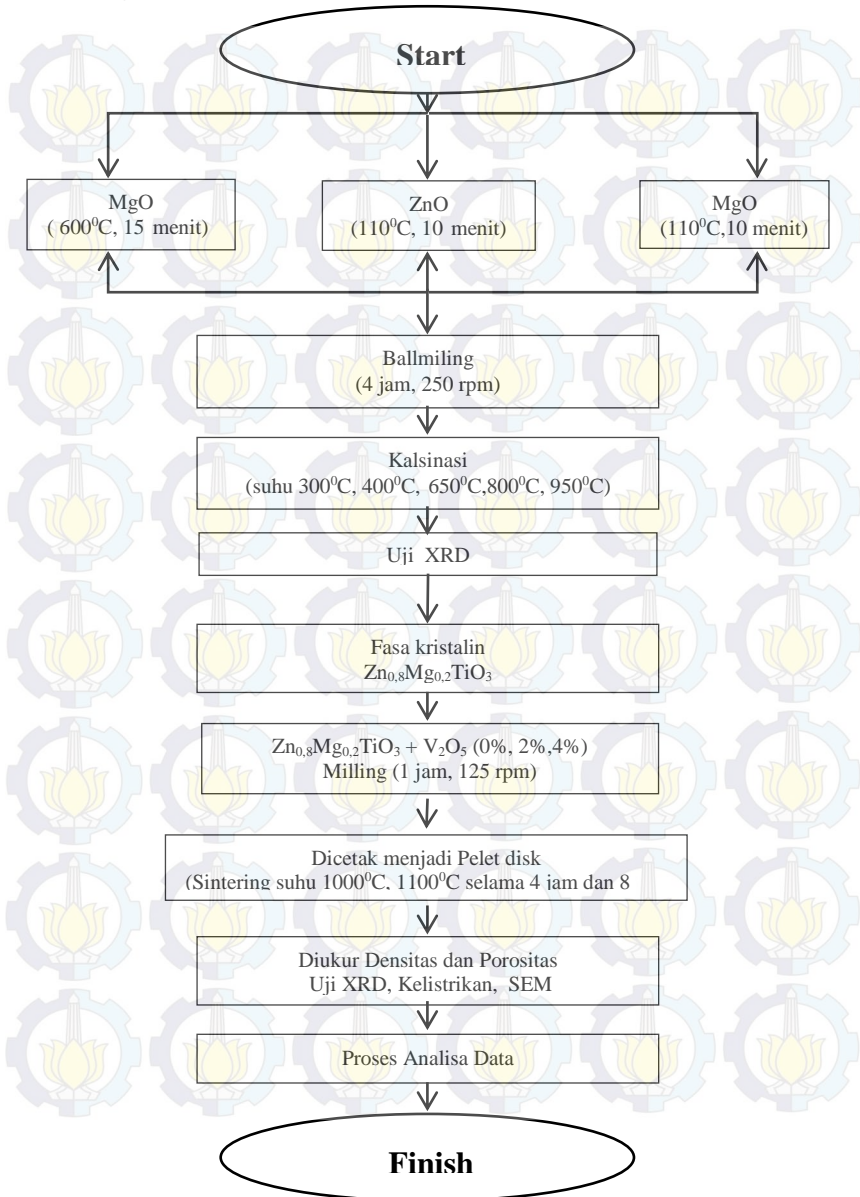
3.2.5 Pengamatan Struktur Mikro

Pengamatan struktur mikro dilakukan dengan *Scanning Electron Microscopy* (SEM). Tujuan dilaksanakannya uji SEM dalam penelitian ini adalah untuk mengetahui struktur mikro pada sampel yang telah disintering baik murni maupun dengan aditif. Sebelum sampel diuji SEM permukaan sampel dihaluskan dan dipanaskan dengan suhu 100°C dibawah suhu sinter.

3.2.6 Karakterisasi Sifat Dielektrik

Karakterisasi sifat listrik meliputi pengukuran permitivitas dan faktor disipasi menggunakan *Impedance Analyzer*. Seluruh sampel baik murni maupun dengan aditif disinter dioleskan pasta perak yang dicampur dengan tuloena secara merata pada permukaan sampel, dikeringkan pada suhu 75°C kemudian ditempelkan elektroda. Setelah elektroda menempel sampel kemudian dipanaskan pada suhu 450°C selama 10 menit. Pengukuran ini menggunakan tegangan listrik bolak-balik sebesar 5 V pada range frekuensi 1 Hz hingga 32 MHz.

3.3 Diagram Alir Penelitian

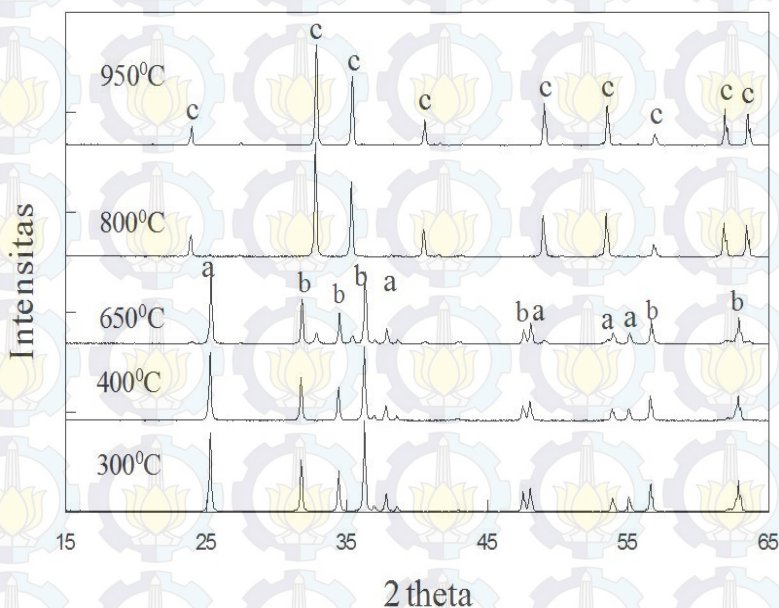


BAB IV

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Sintesis Fasa Tunggal $\text{Zn}_{0,8}\text{Mg}_{0,2}\text{TiO}_3$

Sampel $\text{Zn}_{0,8}\text{Mg}_{0,2}\text{TiO}_3$ yang telah disintesis dengan metode reaksi padat, dilakukan pengujian sinar X dengan berbagai temperatur. Berikut ini adalah pola difraksi sinar X seluruh sampel yang dikalsinasi pada temperatur 300°C, 400°C, 650°C, 800°C, dan 950°C selama 2 jam ditunjukkan pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Pola difraksi Sinar-X dari sampel dikalsinasi pada berbagai temperatur (a : TiO_2 ; b : ZnO ; c : ZnTiO_3)

Identifikasi fasa pola difraksi sinar-X dilakukan dengan perangkat lunak *Match2* dengan database PDF-2. Fasa-fasa yang teridentifikasi pada hasil penelitian ini antara lain *Anatase* (TiO_2) dengan kode # 00-021-1272 dan *Zincite* (ZnO) dengan kode # 00-079-2205 untuk sampel kalsinasi temperatur 300°C

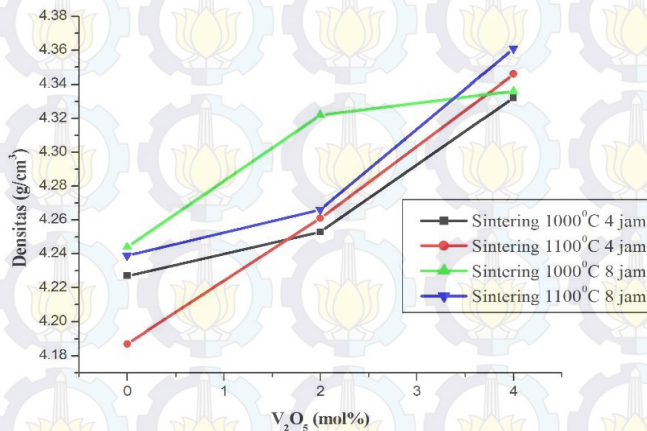
dan 400°C. Pada temperatur 650°C fasa-fasa yang teridentifikasi adalah *Anatase* (TiO_2) dengan kode # 00-021-1272 dan *Zincite* (ZnO) dengan kode # 00-079-2205 dan *Ecandrewsite* (ZnTiO_3) dengan kode # 00-026-1500. Pada temperatur ini, fasa ZnTiO_3 yang diinginkan mulai terbentuk tetapi masih terdapat fase sekunder ZnO dan TiO_2 . Sehingga, masih perlu dilakukan kalsinasi dengan temperatur yang lebih tinggi untuk mendapatkan fasa tunggal ZnTiO_3 . Dalam penelitian ini, kembali dilakukan sintesis dengan sampel yang dikalsinasi pada temperatur 800°C dan 950°C. Dari hasil pola difraksi sinar X yang ditunjukkan gambar 4.1 diketahui bahwa fasa tunggal ZnTiO_3 terbentuk pada temperatur 800°C dan 950°C.

Analisa *Rietveld* menggunakan perangkat lunak *rietica* pada fasa tunggal yaitu dengan perbandingan ($\text{ZnO}+\text{MgO}$) : TiO_2 = 1,004 : 1, diketahui bahwa parameter kisi yang terukur adalah $a = b = 5,0775(2) \text{ \AA}$ dan $c = 13,9350(5) \text{ \AA}$ (*Output Rietica* disajikan dalam lampiran B). Hasil ini menunjukkan terjadi perbedaan dengan yang dilaporkan oleh Ming-Liang Hsieh, *et al.* (2007) bahwa parameter kisi dari ZnTiO_3 adalah $a = b = 5,0787 \text{ \AA}$ dan $c = 13,9271 \text{ \AA}$. Perbedaan tersebut menunjukkan bahwa terbentuknya $\text{Zn}_{0,8}\text{Mg}_{0,2}\text{TiO}_3$ dengan sumbu a dan b berkurang panjang $0,0012 \text{ \AA}$ akibat substitusi 20% posisi Zn^{2+} berjejari atom $0,074 \text{ \AA}$ digantikan Mg^{2+} berjejari atom $0,072 \text{ \AA}$. Untuk ZnO-MgO-TiO_2 campuran, karena jari-jari ionik Mg^{2+} ($0,072 \text{ \AA}$) lebih kecil dibandingkan dengan jari-jari Zn^{2+} ($0,074 \text{ \AA}$), *Magnesium* dengan mudah mengganti *Zincite* dan membentuk larutan padat (Zn,Mg) TiO_3 .

4.2 Densifikasi

Dalam penelitian ini suhu sintering ditentukan dengan mempertimbangkan berbagai referensi dari eksperimen, yaitu pada suhu 1000°C dan 1100°C selama 4 jam serta 8 jam. Seluruh sampel yang telah disinter dilakukan pengukuran densitas *bulk* menggunakan metode Archimedes dan dihitung menggunakan

persamaan 3.1. Hasil pengukuran densitas *bulk* disajikan pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Densitas *Bulk* sampel $ZnTiO_3$ murni maupun dengan aditif V_2O_5 untuk berbagai suhu sinter

Dari Gambar 4.2 untuk pengukuran densitas pada temperatur sintering 1000°C selama 4 jam dan 8 jam menyatakan bahwa semakin lama waktu tahan sintering akan mengurangi porositas dikarenakan pertumbuhan butir yang terjadi. Hal ini dapat mengakibatkan material yang mempunyai waktu tahan sintering lama akan memiliki densitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan material yang memiliki waktu tahan sintering rendah. Selain itu pada Gambar dapat diketahui bahwa material dengan penambahan fasa cair mampu lebih efektif meningkatkan densifikasi jika dibandingkan dengan tanpa aditif. Suhu sinter dinaikkan menyebabkan porositas menjadi berkurang dan densitasnya menjadi meningkat. Selain suhu sinter, peranan fasa cair juga sangat terlihat dalam mereduksi porositas material. Pada proses sinter fasa cair dikenal tahapan pelarutan dan pengendapan, pada tahapan ini butir-butir berukuran kecil larut ke dalam fasa cair, bermigrasi melalui fasa cair dan kemudian

mengendap di permukaan butir berukuran besar (Rahaman, 2003). Sehingga dalam proses sintering fasa cair meskipun porositas dapat direduksi lebih cepat namun ukuran butir akan tumbuh lebih cepat jika dibandingkan dengan sampel tanpa penambahan zat aditif.

Dalam Gambar 4.2 dapat diketahui juga bahwa terjadi penurunan densitas pada sampel ZnTiO_3 dengan waktu tahan 4 jam dan 8 jam serta $\text{ZnTiO}_3 + 2 \text{ mol\% V}_2\text{O}_5$ 8 jam untuk temperatur 1000°C ke 1100°C . Penurunan densitas ini dikarenakan heksagonal ZnTiO_3 terurai menjadi kubik Zn_2TiO_4 dan *Rutile* TiO_2 . Hal ini dapat dilihat pada gambar hasil XRD masing-masing temperatur yang sudah disajikan (Gambar 4.3 temperatur 1000°C dan Gambar 4.4 untuk temperatur 1100°C).

4.3 Kajian Fenomena Penyusutan

Fenomena yang terjadi selama proses densifikasi terutama pada daerah-daerah perlambatan penyusutan dipelajari dari pola difraksi sinar X. Seluruh sampel yang disinter pada temperatur 1000°C dan 1100°C diuji difraksi sinar X dan selanjutnya dilakukan analisis kualitatif dan kuantitatif. Pola difraksi sampel ZnTiO_3 dengan penambahan zat aditif berbagai variasi *holding time* yang telah disinter ditunjukkan berturut-turut oleh Gambar 4.3 dan 4.4.

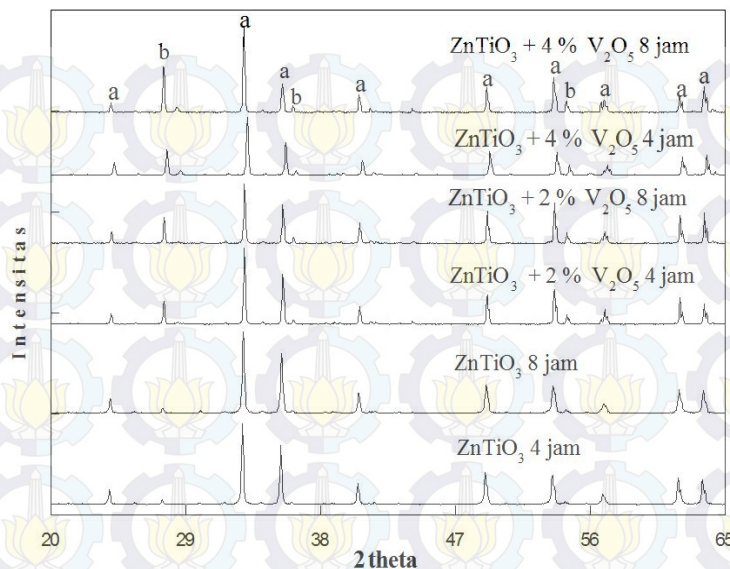
Gambar 4.3 menunjukkan pola difraksi sinar X pada sampel ZnTiO_3 dan ZnTiO_3 dengan penambahan zat aditif V_2O_5 temperatur 1000°C dengan berbagai waktu penahanan. Hasil identifikasi fasa menunjukkan bahwa fasa yang terbentuk adalah *Ecandrewsite* (ZnTiO_3) kode # 00-026-1500 dan fasa sekunder *Rutile* (TiO_2) kode # 00-076-0649. Pada sampel ZnTiO_3 dengan penambahan zat aditif 2 mol% V_2O_5 dan 4 mol% V_2O_5 terbentuk fasa sekunder *Rutile* (TiO_2). Dimana komposisi fase sekunder *Rutile* (TiO_2) ini semakin membesar yaitu 6,29 %, ketika diberi zat aditif 4% V_2O_5 dengan waktu tahan 8 jam. Tidak teridentifikasinya fasa yang mengandung Vanadium diduga fasa

aditif ini telah mencair sepenuhnya membentuk amorf dan mengendap menempati batas butir.

Analisa *Rietveld* menggunakan perangkat lunak *rietica* pada fasa tunggal ZnTiO_3 dengan penambahan 2 mol% V_2O_5 dan 4 mol% V_2O_5 sinter 1000°C diketahui bahwa parameter kisi yang terukur berturut-turut adalah $a = b = 5,0878$ (7) Å dan $c = 13,9663$ (23) Å ; $a = b = 5,0818$ (6) Å dan $c = 13,9539$ (21) Å (*Output Rietica* disajikan dalam lampiran B). Hasil ini menunjukkan terjadi perbedaan dengan sampel ZnTiO_3 tanpa penambahan zat aditif sinter 1000°C bahwa parameter kisi dari ZnTiO_3 adalah $a = b = 5,0890$ (5) Å dan $c = 13,9743$ (16) Å. Perbedaan tersebut menunjukkan bahwa terbentuknya $\text{Zn}_{0,8}\text{Mg}_{0,2}\text{TiO}_3$ dengan sumbu a dan b berkurang panjang 0,0012 Å dan sumbu c berkurang panjang 0,008 Å untuk ZnTiO_3 dengan penambahan 2 mol% V_2O_5 . Sedangkan untuk ZnTiO_3 dengan penambahan 4 mol% V_2O_5 sumbu a dan b berkurang panjang 0,0072 Å dan sumbu c berkurang panjang 0,0204 Å. Berkurangnya nilai parameter kisi ini, akibat substitusi 2% posisi Ti^{4+} dan 4% posisi Ti^{4+} berjejari atom 0,061 Å digantikan V^{5+} berjejari atom 0,054 Å. Sehingga menyebabkan *cell volume* pada sampel ZnTiO_3 dengan penambahan 2 mol % V_2O_5 dan 4 mol % V_2O_5 lebih kecil dibandingkan sampel ZnTiO_3 tanpa penambahan zat aditif (*Output Rietica* disajikan dalam lampiran B). Substitusi atom V ke dalam atom Ti, memungkinkan terjadinya fasa baru yaitu $\text{Zn}(\text{Ti},\text{V})\text{O}_3$. Substitusi atom V dapat dituliskan sebagai berikut :



Karena Ti dan V mempunyai elektron valensi yang berbeda, kemungkinan fasa baru yang terbentuk mempengaruhi besar konstanta dielektrik material.



Gambar 4.3 Pola difraksi Sinar-X ($\text{CuK}\alpha = 1.54056 \text{ \AA}$) bentuk *pellet* *disk* sintering temperatur 1000°C . (a : ZnTiO_3 ; b : TiO_2)

Tabel 4.1. Hasil Analisa *Rietveld* Sintering 1000°C 8 jam

No.	Sampel	Parameter kisi ZnTiO_3 (\AA)		Cell Volume ZnTiO_3
		a = b	c	
1	ZnTiO_3	5.089	13.9743	313.4217
2	$\text{ZnTiO}_3 + 2 \text{ mol\% V}_2\text{O}_5$	5.0878	13.9663	313.0578
3	$\text{ZnTiO}_3 + 4 \text{ mol\% V}_2\text{O}_5$	5.0818	13.9539	312.0781

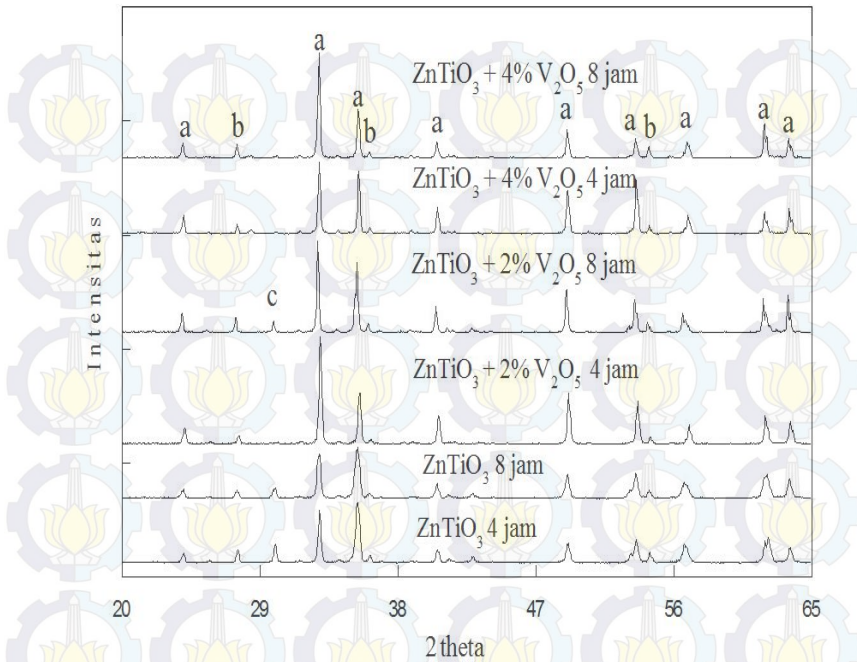
Gambar 4.4 menunjukkan pola difraksi sinar X pada sampel ZnTiO_3 dan ZnTiO_3 dengan penambahan zat aditif V_2O_5 temperatur 1100°C dengan berbagai waktu penahanan. Hasil identifikasi fasa menunjukkan bahwa fasa yang terbentuk adalah *Ecandrewsite* (ZnTiO_3) kode # 00-026-1500, fasa sekunder *Rutile* (TiO_2) kode #00-076-0649 dan Zn_2TiO_4 kode # 00-025-1164. Fasa-fasa Dimana dari hasil XRD diketahui bahwa pada sampel

ZnTiO_3 tanpa penambahan zat aditif yang disinter 1100°C selama 4 jam dan 8 jam mengalami dekomposisi fasa yaitu ZnTiO_3 , TiO_2 dan Zn_2TiO_4 . Begitu juga dengan sampel ZnTiO_3 dengan penambahan 2 mol% V_2O_5 sinter 1100°C selama 8 jam. Sedangkan untuk sampel ZnTiO_3 dengan penambahan 2 mol% V_2O_5 sinter 1100°C selama 8 jam dan sampel ZnTiO_3 dengan penambahan 4 mol% V_2O_5 sinter 1100°C selama 4 jam serta 8 jam juga terurai menjadi fasa tunggal ZnTiO_3 dan fasa sekunder *Rutile* (TiO_2).

Analisa *Rietveld* menggunakan perangkat lunak *Rietica* menggunakan metode Le Bail untuk sampel yang terdekomposisi menjadi tiga fasa pada fasa tunggal ZnTiO_3 dengan penambahan 2 mol% V_2O_5 sinter 1100°C selama 8 jam diketahui bahwa parameter kisi yang terukur adalah $a = b = 5,0753$ (3) Å dan $c = 13,9312$ (10) Å (*Output Rietica* disajikan dalam lampiran B). Hasil ini menunjukkan terjadi perbedaan dengan sampel ZnTiO_3 tanpa penambahan zat aditif sinter 1100°C selama 4 jam dan 8 jam bahwa parameter kisi dari ZnTiO_3 berturut-turut adalah $a = b = 5,0837$ (5) Å dan $c = 13,8925$ (16) Å ; $a = b = 5,0819$ (4) Å dan $c = 13,8986$ (17) Å. Perbedaan tersebut menunjukkan bahwa terbentuknya $\text{Zn}_{0,8}\text{Mg}_{0,2}\text{TiO}_3$ dengan sumbu a dan b berkurang panjang 0,0066 Å untuk ZnTiO_3 dengan penambahan 2 mol% V_2O_5 sinter 1100°C selama 8 jam. Berkurangnya nilai parameter kisi ini, akibat substitusi 2 mol% posisi Ti^{4+} berjejari atom 0,061 Å (Wikipedia, 2015) digantikan V^{5+} berjejari atom 0,054 Å (Wikipedia, 2015). Sehingga menyebabkan *cell volume* pada sampel ZnTiO_3 dengan penambahan 2 mol% V_2O_5 lebih kecil dibandingkan sampel ZnTiO_3 tanpa penambahan zat aditif (*Output Rietica* disajikan dalam lampiran B). Sedangkan analisis *Rietveld* menggunakan perangkat lunak *rietica* untuk sampel yang terdekomposisi menjadi dua fasa pada fasa tunggal ZnTiO_3 dengan penambahan 4 mol% V_2O_5 sinter 1100°C selama 4 jam dan 8 jam diketahui bahwa parameter kisi yang terukur berturut-turut adalah $a = b = 5,0756$ (3) Å dan $c = 13,9253$ (15) Å ; $a = b = 5,0769$ (3) Å dan $c = 13,9197$ (10) Å (*Output Rietica* disajikan

dalam lampiran B). Hasil ini menunjukkan terjadi perbedaan dengan sampel ZnTiO_3 dengan penambahan 2 mol % zat aditif sinter 1100°C selama 4 jam bahwa parameter kisi dari ZnTiO_3 adalah $a = b = 5,0872$ (5) Å dan $c = 13,9617$ (16) Å. Perbedaan tersebut menunjukkan bahwa terbentuknya $\text{Zn}_{0,8}\text{Mg}_{0,2}\text{TiO}_3$ dengan lebih banyak mol% penambahan zat aditif, maka parameter kisinya semakin berkurang. Hal ini menyebabkan *cell volume* pada sampel ZnTiO_3 dengan penambahan 4 mol% zat aditif sinter 1100°C selama 4 jam dan 8 jam lebih kecil dibandingkan dengan sampel ZnTiO_3 dengan penambahan 2 mol% zat aditif sinter 1100°C selama 4 jam (*Output Rietica* disajikan dalam lampiran B). Berkurangnya *cell volume* ini dikarenakan pengaruh temperatur dan waktu tahan yang lebih tinggi. Dimana ketika temperatur yang digunakan semakin tinggi, maka porositas dari sampel semakin berkurang akibatnya atom-atom didalamnya semakin mampat sehingga menyebabkan *cell volume* lebih kecil dibandingkan dengan sampel yang disinter pada temperatur 1000°C .





Gambar 4.4 Pola difraksi Sinar-X ($\text{CuK}\alpha = 1.54056 \text{ \AA}$) dari sampel bentuk *pellet disk* sintering temperatur 1100°C .
(a : ZnTiO_3 ; b : TiO_2 ; c : Zn_2TiO_4)

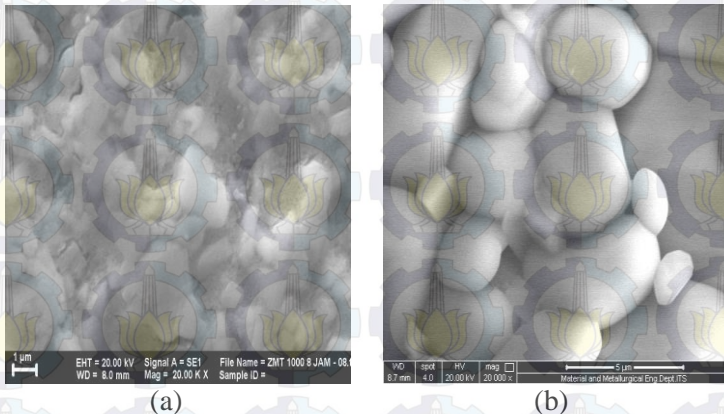
Tabel 4.2. Hasil Analisa *Rietveld* Sintering 1100°C

No	Sampel	Parameter kisi ZnTiO_3 (\AA)		Volume cell
		a = b	c	
1	ZnTiO_3 4 jam	5.0837	13.8925	311.0079
2	ZnTiO_3 8 jam	5.0819	13.8986	310.8642
3	$\text{ZnTiO}_3 + 2 \text{ mol\% } \text{V}_2\text{O}_5$ 4 jam	5.0872	13.9617	312.9126
4	$\text{ZnTiO}_3 + 2 \text{ mol\% } \text{V}_2\text{O}_5$ 8 jam	5.0753	13.9312	310.776

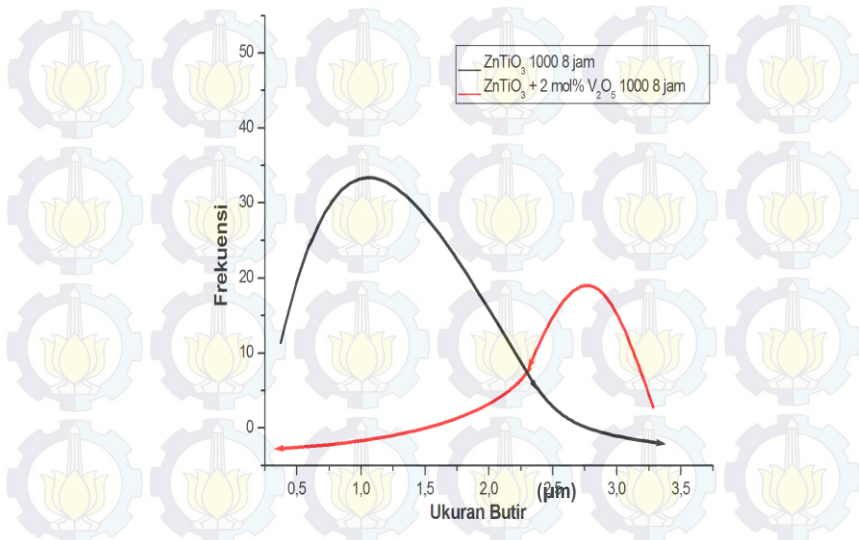
5	ZnTiO ₃ + 4 mol% V ₂ O ₅ 4 jam	5.0756	13.9253	310.6802
6	ZnTiO ₃ + 4 mol% V ₂ O ₅ 8 jam	5.0769	13.9197	310.7141

4.4 Karakteristik Struktur Mikro

Struktur mikro dari sampel diamati dengan SEM, ditunjukkan Gambar 4.5. Hasil ini merupakan citra dari sampel ZnTiO₃ murni dan dengan penambahan zat aditif sinter 1000°C selama 8 jam. Hasil perhitungan ukuran butir menggunakan *cross section measurement* (Lord, 2013) didapatkan bahwa ukuran butir dari ZnTiO₃ tanpa penambahan zat aditif sinter 1000°C selama 8 jam adalah 0.93 μm (Gambar 4.5 (a)). Sedangkan ukuran butir dari ZnTiO₃ dengan penambahan zat aditif 2 mol% V₂O₅ sinter 1000°C selama 8 jam adalah 2.624 μm (Gambar 4.5 (b)). Hasil ini Data ukuran butir ini menunjukkan bahwa zat aditif berperan sebagai bahan yang mampu memicu *grain growth* lebih cepat.



Gambar 4.5 Struktur mikro melalui Foto SEM sampel ZnTiO₃ sinter 1000°C selama 8 jam. (a)tanpa zat aditif (b)penambahan 2 mol % V₂O₅



Gambar 4.6 Distribusi ukuran partikel sampel ZnTiO_3 sinter 1000°C selama 8 jam. (a) tanpa zat aditif (b) penambahan 2 mol % V_2O_5

4.5 Karakterisasi Sifat Listrik

Pengukuran sifat dielektrik sampel dalam penelitian ini dilakukan pada temperatur kamar dengan frekuensi berubah-ubah antara 1 Hz hingga 32 MHz sehingga dapat diketahui karakteristik polarisasi masing-masing sampel. Karakterisasi sifat dielektrik yang akan dilaporkan ialah konstanta dielektrik (ϵ_r), dan faktor disipasi ($\tan \delta$). Gambar 4.7 dan 4.8 menunjukkan hubungan antara konstanta dielektrik yang berubah terhadap frekuensi pada sampel dengan berbagai suhu sinter. Secara umum karakteristik polarisasi yang ditunjukkan seluruh sampel adalah polarisasi *space charge* dan polarisasi dipol. Selain itu, disediakan tabel untuk mengetahui pada *range* berapa material mengalami daerah konstan nilai konstanta dielektriknya atau mengalami polarisasi dipolar. Pada daerah polarisasi dipol konstanta

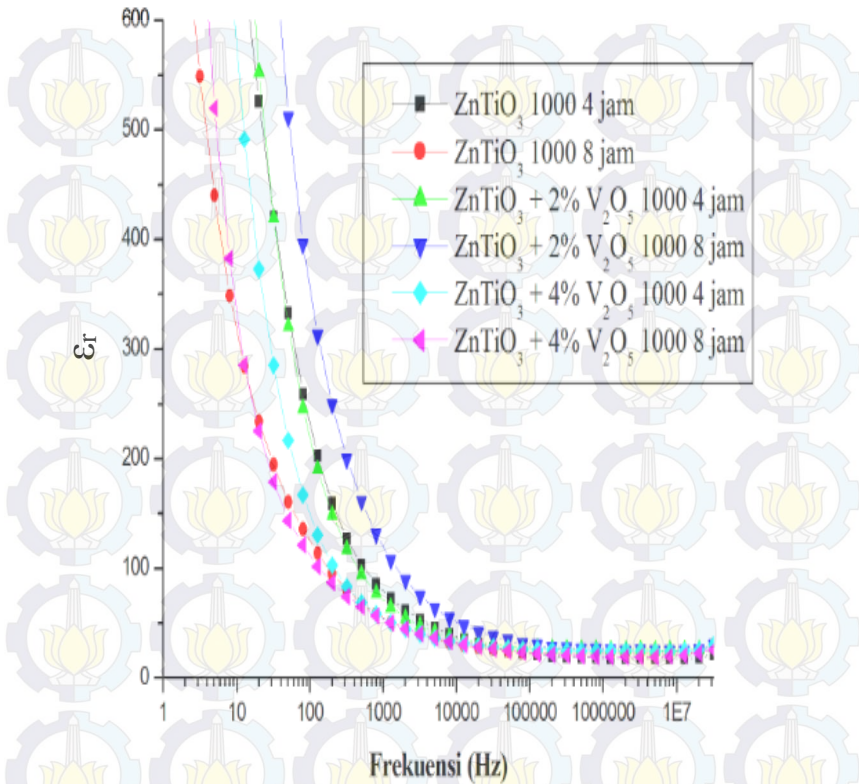
dielektrik meningkat seiring meningkatnya temperatur. Seperti telah dibahas dalam subbab sebelumnya bahwa peningkatan suhu mengakibatkan densitas material semakin meningkat yang diikuti oleh penurunan porositas dan tumbuhnya ukuran butir. Selain itu, peningkatan waktu tahan sintering, dapat meningkatkan densitas suatu material. Dimana pertumbuhan butir akan berlangsung lebih lama yang mengakibatkan terjadi kenaikan ukuran butir dan terjadi pengurangan besar porositas. Porositas yang besar menghasilkan densitas yang kecil. Porositas dapat mengurangi besar polarisasi dipolar. Akibatnya densitas yang kecil memiliki nilai konstanta dielektrik yang rendah.

Material ZnTiO_3 merupakan material dengan struktur *ilmenite*, yang merupakan turunan dari struktur alumina Al_2O_3 . Atom Al diganti oleh Zn dan Ti, dimana atom Zn bermuatan $2+$ dan Ti bermuatan $4+$, sehingga didalam material ini timbul dipol atomik. Ketika sampel diberikan medan listrik, timbulah polarisasi dipolar. Polarisasi dipolar ini tidak diakibatkan oleh adanya ruang kosong (cavity) didalam material melainkan adanya atom Zn dan Ti. Ketika frekuensi medan listrik dikurangi, polarisasi dipolar akan berubah menjadi polarisasi space charge. Namun, polarisasi space charge terjadi pada muatan listrik yang tidak terikat yaitu pada batas butir (grain boundary) dan ruang kosong (cavity). Dari Gambar 4.7 dan 4.8 dapat diketahui bahwa material dengan densitas yang tinggi, mengalami perubahan ke polarisasi space charge yang lebih lambat dibandingkan dengan densitas yang rendah. Pada densitas yang rendah, material memiliki porositas yang tinggi. Akibatnya, material lebih mudah mengalami polarisasi space charge dibandingkan polarisasi dipolar.

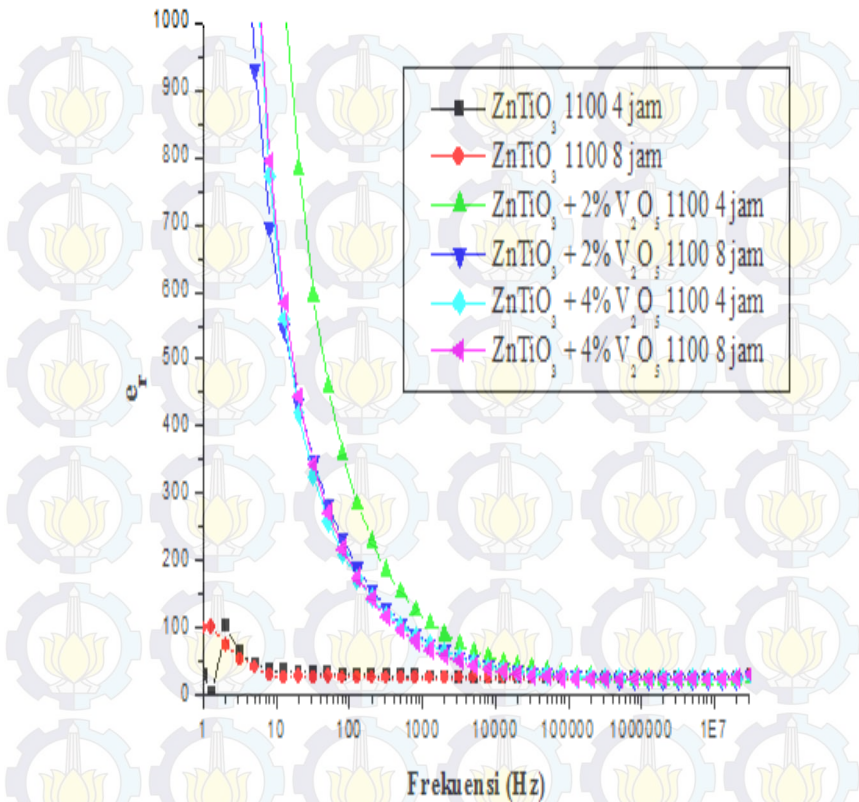
Dari hasil penelitian yang telah dilakukan (Gambar 4.7), sampel ZnTiO_3 murni maupun dengan penambahan aditif V_2O_5 menghasilkan nilai konstanta dielektrik lebih tinggi. Hal ini, dikarenakan pembentukan fasa sekunder TiO_2 oleh dekomposisi fasa ZnTiO_3 . Dimana konstanta dielektrik dari TiO_2 ($\epsilon_r = 104$) jauh lebih tinggi daripada ZnTiO_3 ($\epsilon_r = 19$). Namun, pada

beberapa sampel ZnTiO_3 murni maupun dengan penambahan aditif V_2O_5 sinter 1000°C dan 1100°C mengalami penurunan nilai konstanta dielektrik. Kemungkinan hal ini dikarenakan adanya fasa yang tidak diketahui pada hasil uji XRD. Besaran konstanta dielektrik material dipengaruhi oleh adanya fasa sekunder TiO_2 , Zn_2TiO_4 maupun fasa yang tidak diketahui pada hasil uji XRD. Hal ini dikarenakan polarisasi dipolar antara Zn dan Ti bisa digantikan oleh adanya polarisasi dipolar antara Zn dan V. Diketahui Ti memiliki muatan $4+$ dan V $5+$. Sedangkan pada Gambar 4.8 terlihat bahwa ada 2 kelompok sampel yaitu untuk sampel ZnTiO_3 tanpa doping berada pada daerah space charge yang lebih rendah dibandingkan sampel ZnTiO_3 dengan penambahan V_2O_5 . Hal ini dikarenakan, pada material ZnTiO_3 dengan penambahan zat aditif V_2O_5 mempunyai pembawa muatan (elektron) yang lebih banyak akibat adanya defek ekstrinsik dari material.

Pada pengukuran uji listrik yang sudah dilakukan, diketahui bahwa ketika frekuensi medan listrik rendah atau berkurang maka polarisasi dipolar akan berubah menjadi polarisasi space charge. Pada saat medan listrik dengan frekuensi rendah diberikan, lubang (porositas) di dalam material akan memberikan arah medan yang berlawanan dengan medan luar. Hal ini mengakibatkan terjadinya polarisasi pada porositas tertutup (*long polarization*), yang berdampak pada berkurangnya nilai konstanta dielektrik suatu material. Elektron di sekitar porositas tertutup bergerak lebih jauh dibandingkan dengan elektron yang bergerak tanpa adanya porositas ketika diberikan medan listrik.



Gambar 4.7 Hubungan antara konstanta dielektrik terhadap frekuensi dengan suhu sinter 1000°C



Gambar 4.8 Hubungan antara permitivitas real terhadap frekuensi dengan suhu sinter 1100°C

Konduktivitas listrik ZnTiO_3 murni maupun dengan penambahan aditif V_2O_5 ditampilkan pada tabel 4.3 dan 4.4 menunjukkan material dengan densitas yang tinggi memiliki konduktivitas yang rendah. Hasil ini, berbanding terbalik dengan nilai resistivitasnya yang besar. Material dengan densitas yang besar, memiliki porositas yang rendah. Tetapi kerapatan grain didalam material tersebut lebih tinggi dibandingkan dengan

material dengan densitas rendah. Ketika kedua material diberi medan listrik, elektron yang bergerak pada material lebih rapat, karena material lebih rapat sehingga gerakan elektronnya menjadi lebih lambat.

Tabel 4.3 Rekap Data Uji Listrik Sampel ZnTiO₃ Sintering 1000°C

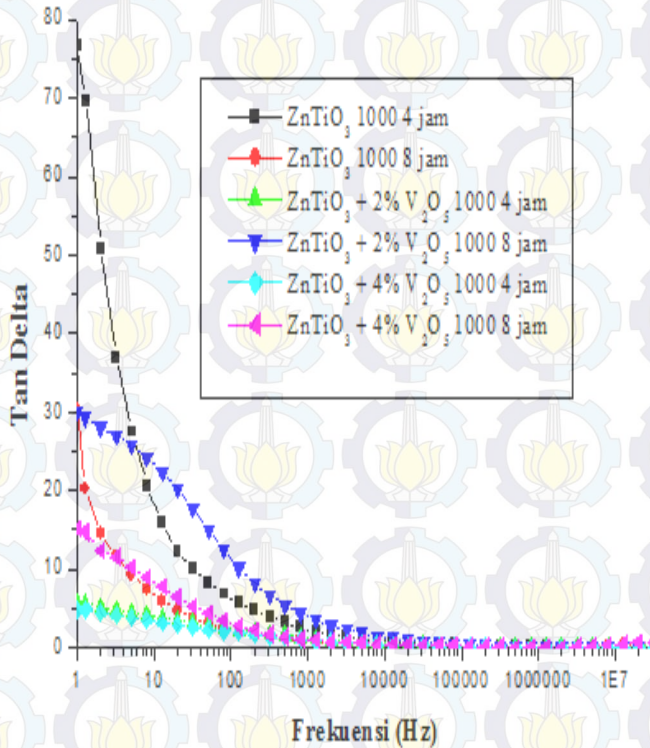
Material	Resistivitas (Ohm.mm)	Konduktivitas (Ohm.mm) ⁻¹	ϵ_r	Frekuensi maksimum (MHz)	Frekuensi minimum (KHz)	Densitas Archimedes (gr/cm ³)
ZnTiO ₃ 4 jam	1.15×10^6	6.67×10^{-7}	18.91	20.19	201.9	4.227
ZnTiO ₃ 8 jam	7.5×10^6	1.33×10^{-7}	22.23	12.74	201.9	4.244
ZnTiO ₃ + 2 mol% V ₂ O ₅ 4 jam	2.20×10^6	4.53×10^{-7}	25.94	20.19	320	4.253
ZnTiO ₃ + 4 mol% V ₂ O ₅ 8 jam	2.65×10^6	3.78×10^{-7}	26.06	20.19	127.39	4.322
ZnTiO ₃ + 2 mol% V ₂ O ₅ 4 jam	3.92×10^6	2.55×10^{-7}	25.5	20.19	50.71	4.332
ZnTiO ₃ + 4 mol% V ₂ O ₅ 8 jam	8.90×10^6	1.12×10^{-7}	21.3	20.19	32	4.336

Tabel 4.4 Rekap Data Uji Listrik Sampel ZnTiO₃ Sintering 1100^oC

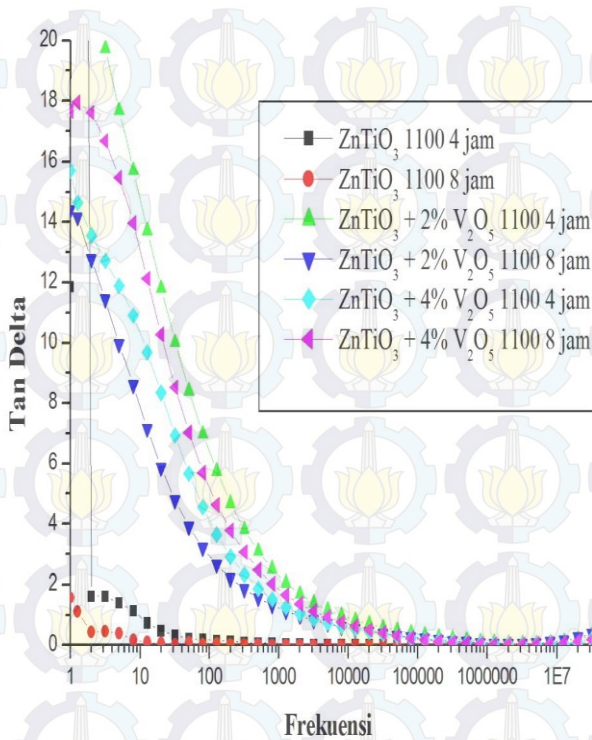
Material	Resistivitas (Ohm.mm)	Konduktivitas (Ohm.mm) ⁻¹	ϵ_r	Frekuensi maksimum (MHz)	Frekuensi minimum (KHz)	Densitas Archimedes (gr/cm ³)
ZnTiO ₃ 4 jam	-	-	26.17	20.19	5.07	4.187
ZnTiO ₃ 8 jam	-	-	24.55	20.19	0.32	4.239
ZnTiO ₃ + 2 mol% V ₂ O ₅ 4 jam	1.87×10^6	5.33×10^{-7}	23.78	20.19	803.80	4.261
ZnTiO ₃ + 4 mol% V ₂ O ₅ 8 jam	2.75×10^6	3.64×10^{-7}	24.55	20.19	201.90	4.266
ZnTiO ₃ + 2 mol% V ₂ O ₅ 4 jam	2.78×10^6	3.59×10^{-7}	24.42	20.19	201.90	4.346
ZnTiO ₃ + 4 mol% V ₂ O ₅ 8 jam	3.60×10^6	2.78×10^{-7}	23.81	20.19	80.38	4.361

Faktor disipasi dielektrik ($\tan \delta$) dapat diketahui dengan meninjau besaran Tan Delta berdasarkan frekuensi yang diberikan. Secara keseluruhan dari Gambar 4.9 dan 4.10 ditunjukkan bahwa $\tan \delta$ semakin menurun seiring meningkatnya nilai frekuensi yang diberikan. Hal ini menunjukkan bahwa pada keadaan frekuensi yang tinggi perubahan posisi dipol sangat sedikit, sehingga gesekan antar molekul menjadi lebih sedikit. Penn et al (1997) menyatakan bahwa $\tan \delta$ material semakin besar jumlah porositas pada suatu sampel, maka $\tan \delta$ akan semakin meningkat dan sebaliknya. Pernyataan ini dapat dikonfirmasi dengan meninjau hasil penelitian dari besaran densitas

Archimedes, secara keseluruhan material dengan densitas tertinggi mempunyai nilai tan delta ($\tan \delta$) yang rendah dan relative stabil, dibandingkan dengan material dengan densitas rendah. Selain itu penyebab turunnya nilai $\tan \delta$ dapat pula diakibatkan oleh meningkatnya hambatan batas butir.



Gambar 4.9 Hubungan Tan Delta terhadap frekuensi dengan suhu sinter 1000°C



Gambar 4.10 Hubungan Tan Delta terhadap frekuensi dengan suhu sinter 1100°C



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Telah berhasil didapatkan fasa tunggal ZnTiO_3 pada temperatur kalsinasi 800°C selama 2 jam.
2. Penambahan temperatur sintering dari 1000°C ke 1100°C mengakibatkan penurunan densitas, hal ini dikarenakan heksagonal ZnTiO_3 terurai menjadi kubik Zn_2TiO_4 dan *Rutile* TiO_2 .
3. Penambahan aditif V_2O_5 dapat mempercepat pertumbuhan ukuran butir yang mengakibatkan nilai konstanta dielektrik besar pada daerah polarisasi dipolar.
4. Secara keseluruhan, sampel dengan nilai densitas terbesar memiliki nilai resistivitas dan konstanta dielektrik yang tinggi, sedangkan nilai konduktivitas rendah.

5.2 Saran

Beberapa saran untuk penelitian selanjutnya yaitu sebagai berikut.

1. Perlu dilakukan penelitian dengan penambahan V_2O_5 dibawah 1 %, hal ini dikarenakan penambahan V_2O_5 yang cukup besar mengakibatkan terbentuknya fasa baru Zn_2TiO_4 dan *Rutile* TiO_2 .
2. Dilakukan penelitian metode baru dengan variasi bahan aditif yang berbeda.
3. Perlu dilakukan karakterisasi listrik tambahan dengan fungsi suhu untuk memperoleh konstanta temperatur.

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

DAFTAR PUSTAKA

- Barsoum, M.W., 2003. "Fundamental of Ceramics". UK: MPG Books Ltd.Bodmin.Cornwall.
- Ermawati F.U., Istihanah, R. Lestari, Suasmoro, dan S. Pratapa, (2012) "Structural dan Microstructural Studies on $\text{Zn}_x\text{Mg}_{1-x}\text{TiO}_3$ ($x=0.0-0.5$) Solid Solutions Formation," in *International Conference on Mathematics dan Series*.
- Istihanah, (2011) "Microstructural Study of Solid Solution $\text{M}_x\text{Mg}_{1-x}\text{TiO}_3$ (M = Zn, Ni) Produced by Wet Mixing," Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya.
- Hsieh, M.-L., Chen, L.-S., Hsu, H.-C., Wang, S., Houg, M.-P. & Fu, S.-L. (2008) "Effect of oxide additives on the low-temperature sintering of dielectrics $(\text{Zn,Mg})\text{TiO}_3$ ". *Materials Research Bulletin*, 43, 3122-3129.
- H.T. Kim, S. Nahm, J.D. Byun, (1999) "Low-fired $(\text{Zn,Mg})\text{TiO}_3$ microwave dielectric ceramics". *Materials Research Bulletin*, 82, 3476-3480.
- Huang C.-L., J. L. Hou, C.-L. Pan, C.-Y. Huang, C.-W. Peng, C.-H. Wei, dan Y.-H. Huang, (2008) "Effect of ZnO additive on sintering behavior dan microwave dielectric properties of $0.95\text{MgTiO}_3-0.05\text{CaTiO}_3$ ceramics," *Journal of Alloys dan Comp ounds*, vol. 450, no. 1–2, hal. 359–363.
- Kim Tae Hyo & Kim Ho Yoon, (1998) "Microwave dielectric properties of Magnesium modified Zinc Titanat ". *Journal of the Korean Physical Society*, vol 32 hal. 346-348.
- Rahaman M. N., (2003), *Ceramic Processing and Sintering*, 2nd edition, Marcel Dekker., New York.

Saukani, Suasmoro, 2015. "Characterization of $\text{Mg}_{0.8}\text{Zn}_{0.2}\text{TiO}_3$ Prepared via Liquid Phase Sintering". *Advanced Materials Research* Vol. 1112, 11-14.

Tae Hyo & Kim Ho Yoon, (1998) "Microwave dielectric properties of Magnesium modified Zinc Titanat". *Journal of the Korean Physical Society*, vol 32 hal. 346-348.

Wang, Y.-R., Wang, S.-F. & Lin, Y.-M. (2005) "Low temperature sintering of $(\text{Zn}_{1-x}\text{Mg}_x)\text{TiO}_3$ microwave dielectrics." *Ceramics International*, 31, 905-909.

Wang Lique, Kang Hongmin, Xue Dongfeng, dan Liu Changhou, (2009) "Low-temperature synthesis of ZnTiO_3 nanopowders". *Materials Research Bulletin*, 311, 611-614.

Yu You-Hua, dan Xia Meng, (2012) "Preparation and characterization of ZnTiO_3 powder by sol-gel process". *Materials Research Bulletin*, 77, 10-12.

Zhang M., L. Li, W. Xia, dan Q. Liao, (2012) "Structure dan properties analysis for MgTiO_3 and $(\text{Mg}_{0.97}\text{M}_{0.03})\text{TiO}_3$ ($\text{M} = \text{Ni}, \text{Zn}, \text{Co}$ dan Mn) microwave dielectric materials," *Journal of Alloys dan Compounds*, vol. 537, hal. 76–79(Huang et al., 2003)

LAMPIRAN A DATA KRISTALOGRAFI

Entry # 00-021-1272

Phase classification

Name Titanium Oxide

Mineral Anatase, syn

Name

Formula TiO_2

I/Icor 3.300000

Sample 9011261

Name

Quality * (Excellent)

References

Publication

Bibliography Natl. Bur. Stand. (U.S.) Monogr. 25 7, 82
(1969)

Origin of data

Source of PDF-2 Release 2000
entry

Crystal structure

Crystallographic data

Space group 141/amd (141)

Crystal Tetragonal
system

Cell $a = 3.785200 \text{ \AA}$ $c = 9.513900 \text{ \AA}$

parameters

Z 4
Experimental

Physical Properties

Calc. density 3.893000 g/cm^3

Entry # 00-079-2205

Phase classification

Name Zinc Oxide
Formula ZnO
I/Icor 5.410000
Quality C (Calculated)

References

Publication

Bibliography Calculated from ICSD using POWD-12++ **45**, 1867 (1997)

Origin of data

Source of entry PDF-2 Release 2000

Crystal structure

Crystallographic data

Space group P63mc (186)
Crystal system Hexagonal
Cell $a = 3.785200 \text{ \AA}$ $c = 9.513900 \text{ \AA}$
parameters
Z 2

Experimental

Physical Properties

Calc. density 5.672000 g/cm³

Entry 00-026-1500

Phase classification

Name Zinc Titanium Oxide

Mineral Name Ecandrewsite,syn

Formula ZnTi O₃

I/Icor 2.500000

Quality * (Excellent)

References

Publication

Bibliography Natl. Bur. Stand. (U.S.) Monogr. 25 **13**, 49 (1976)

Origin of data

Source of entry PDF-2 Release 2000

Crystal structure

Crystallographic data

Space group R-3 (148)

Crystal system Rhombohedral

Cell parameters a= b= 5.078700 Å c=13.927000 Å

Z 6

Experimental

Physical Properties

Calc. density 3.395000 g/cm³

Entry # 00-076-0649

Phase classification**Name** Titanium Oxide**Formula** TiO_2 **I/Icor** 3.560000**Quality** C (calculated)

References

Publication**Bibliography** Calculated from ICSD using POWD-12++ **42**, 295 (1997)**Origin of data****Source of entry** PDF-2 Release 2000

Crystal structure

Crystallographic data**Space group** P42/nm (136)**Crystal system** Tetragonal**Cell parameters** $a=b= 4.601700 \text{ \AA}$ $c= 2.964700 \text{ \AA}$ **Z** 2

Experimental

Physical Properties**Calc. density** 4.226000 g/cm^3

Entry # 00-025-1164

Phase classification

Name Zinc Titanium Oxide

Formula Zn_2TiO_4

I/Icor 4.500000

Quality * (Excellent)

References

Publication

Bibliography Natl. Bur. Stand. (U.S.) Monogr. 25 **12**, 37 (1975) 488 (1951)

Origin of data

Source of entry PDF-2 Release

Crystal structure

Crystallographic data

Space group Fd-3m (227)

Crystal system Cubic

Cell parameters $a = 8.460200 \text{ \AA}$

Cell Volume 8

Experimental

Physical Properties

Calc. density 5.323000 g/cm^3



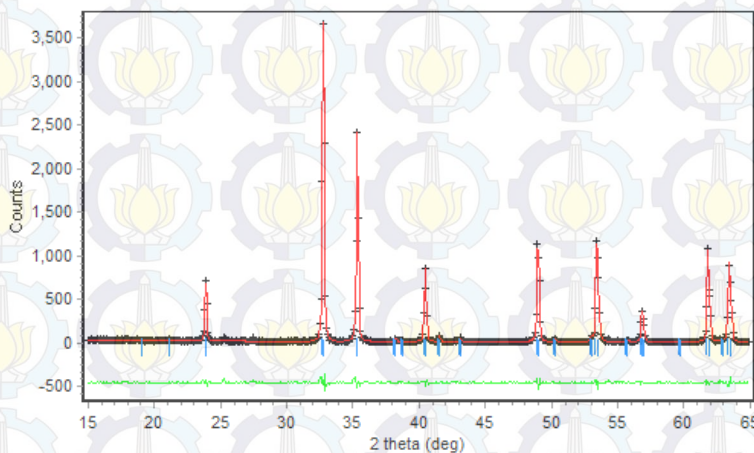
”Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN B

LAMPIRAN B

Gambar B.1 hasil refinement antara pola difraksi terhitung terhadap pola difraksi terukur untuk sampel $\text{Zn}_{0,8}\text{Mg}_{0,2}\text{TiO}_3$ dengan perbandingan $(\text{MgO}+\text{ZnO}) : \text{TiO}_2 = 1,004 : 1$ yang dikalsinasi pada suhu 800°C selama 2 jam.

| $\text{Zn}_{0,8}\text{Mg}_{0,2}\text{TiO}_3$



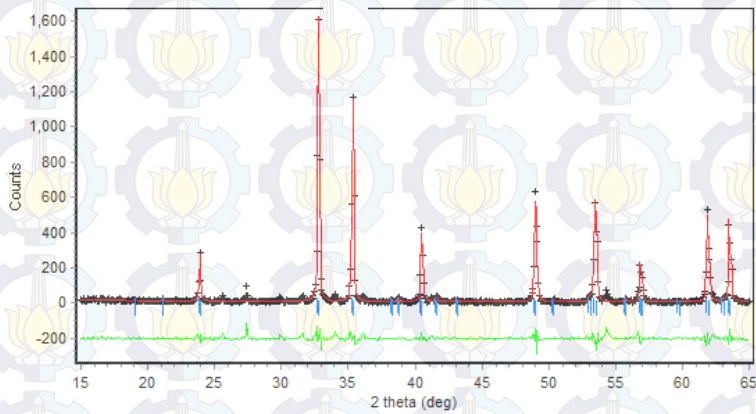
Tabel B.1 Tabel luaran *rietica* untuk sampel $\text{Zn}_{0,8}\text{Mg}_{0,2}\text{TiO}_3$ dengan perbandingan $(\text{ZnO}+\text{MgO}) : \text{TiO}_2 = 1,004 : 1$ yang dikalsinasi pada suhu 800°C selama 2 jam.

Parameter		$\text{Zn}_{0,8}\text{Mg}_{0,2}\text{TiO}_3$	
Parameter Kisi	a = b	5.0775(2)	
	c	13.9350(5)	
Cell Volume		311.1250	
Derived Bragg R-Factor		0.38	

FoM	Rp(%)	Rwp(%)	GoF(%)
	8.40	4.70	0.126

Gambar B.2 hasil refinement antara pola difraksi terhitung terhadap pola difraksi terukur pada sampel $\text{Zn}_{0,8}\text{Mg}_{0,2}\text{TiO}_3$ dengan suhu sintering 1000°C selama 4 jam.

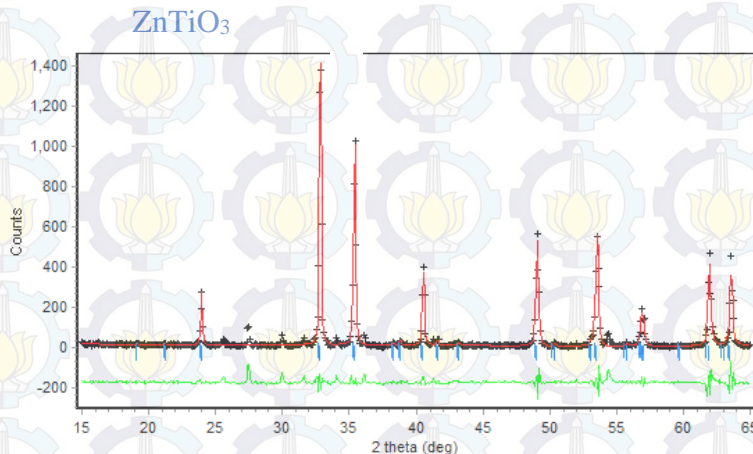
ZnTiO_3



Tabel B.2 Tabel luaran *rietica* untuk sampel $\text{Zn}_{0,8}\text{Mg}_{0,2}\text{TiO}_3$ dengan suhu sintering 1000°C selama 4 jam.

Parameter		$\text{Zn}_{0,8}\text{Mg}_{0,2}\text{TiO}_3$	
Parameter Kisi	a = b	5.0770(4)	
	c	13.9392(13)	
Cell Volume		311.1606	
Derived Bragg R-Factor		0.17	
FoM	Rp(%)	Rwp(%)	GoF(%)
	16.75	9.56	0.102

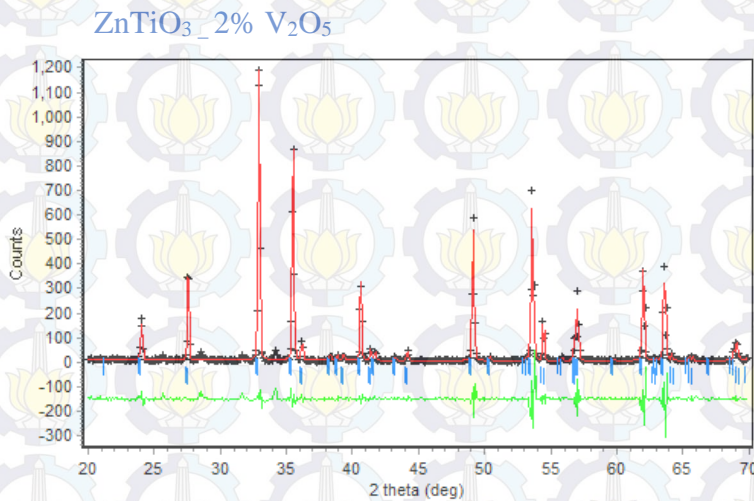
Gambar B.3 hasil refinement antara pola difraksi terhitung terhadap pola difraksi terukur pada sampel $\text{Zn}_{0,8}\text{Mg}_{0,2}\text{TiO}_3$ dengan suhu sintering 1000°C selama 8 jam.



Tabel B.3 Tabel luaran *rietica* untuk sampel $\text{Zn}_{0,8}\text{Mg}_{0,2}\text{TiO}_3$ dengan suhu sintering 1000°C selama 8 jam.

Parameter		$\text{Zn}_{0,8}\text{Mg}_{0,2}\text{TiO}_3$	
Parameter Kisi	a = b	5.0890(5)	
	c	13.9743(16)	
Cell Volume		313.4217	
Derived Bragg R-Factor		0.25	
FoM	Rp(%)	Rwp(%)	GoF(%)
	17.41	10.3	0.119

Gambar B.4 hasil refinement 50ntara pola difraksi terhitung terhadap pola difraksi terukur pada sampel $\text{Zn}_{0.8}\text{Mg}_{0.2}\text{TiO}_3 + 2\% \text{V}_2\text{O}_5$ dengan suhu sintering 1000°C selama 4 jam.

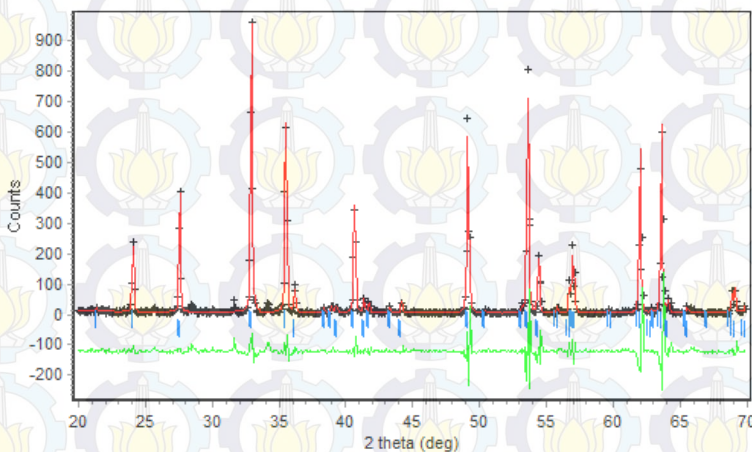


Tabel B.4 Tabel luaran *rietica* untuk sampel $\text{Zn}_{0.8}\text{Mg}_{0.2}\text{TiO}_3 + 2\% \text{V}_2\text{O}_5$ dengan suhu sintering 1000°C selama 4 jam.

Parameter		$\text{Zn}_{0.8}\text{Mg}_{0.2}\text{TiO}_3$	TiO_2
Parameter Kisi	a = b	5.0794(4)	4.5900(0)
	c	13.9490(13)	2.9600(0)
Cell Volume		311.6735	
Derived Bragg R-Factor		0.26	0.12
FoM	Rp(%)	Rwp(%)	GoF(%)
	19.99	12.13	0.122

Gambar B.5 hasil refinement antara pola difraksi terhitung terhadap pola difraksi terukur pada sampel $\text{Zn}_{0,8}\text{Mg}_{0,2}\text{TiO}_3 + 2\% \text{V}_2\text{O}_5$ dengan suhu sintering 1000°C selama 8 jam.

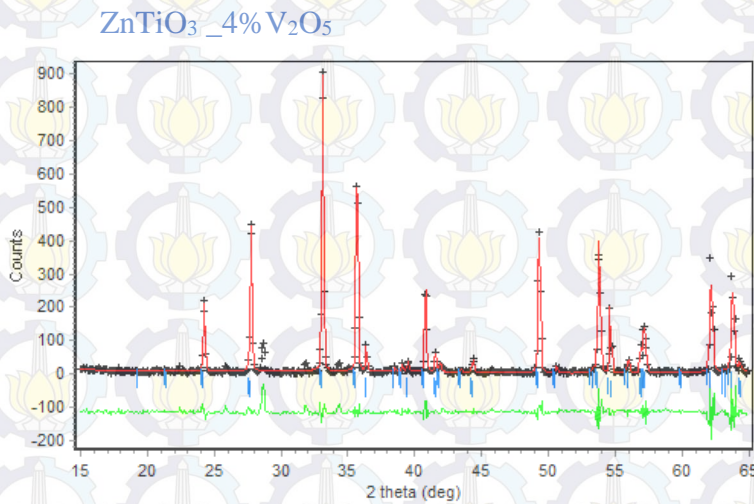
$\text{ZnTiO}_3_2\%\text{V}_2\text{O}_5$



Tabel B.5 Tabel luaran *rietica* untuk sampel $\text{Zn}_{0,8}\text{Mg}_{0,2}\text{TiO}_3 + 2\% \text{V}_2\text{O}_5$ dengan suhu sintering 1000°C selama 8 jam.

Parameter		$\text{Zn}_{0,8}\text{Mg}_{0,2}\text{TiO}_3$	TiO_2
Parameter Kisi	a = b	5.0878(7)	4.6090(12)
	c	13.9663(23)	2.9703(11)
Cell Volume		313.0578	
Derived Bragg R-Factor		0.11	0.74
FoM	Rp(%)	Rwp(%)	GoF(%)
	24.75	17.74	0.181

Gambar B.6 hasil refinement antara pola difraksi terhitung terhadap pola difraksi terukur pada sampel $\text{Zn}_{0.8}\text{Mg}_{0.2}\text{TiO}_3 + 4\% \text{V}_2\text{O}_5$ dengan suhu sintering 1000°C selama 4 jam.

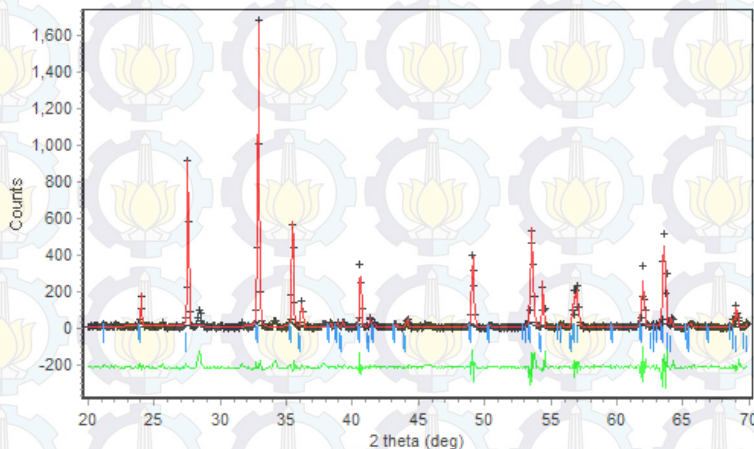


Tabel B.6 Tabel luaran *rietica* untuk sampel $\text{Zn}_{0.8}\text{Mg}_{0.2}\text{TiO}_3 + 4\% \text{V}_2\text{O}_5$ dengan suhu sintering 1000°C selama 4 jam.

Parameter		$\text{Zn}_{0.8}\text{Mg}_{0.2}\text{TiO}_3$	TiO_2
Parameter Kisi	a = b	5.0784(4)	4.5903(10)
	c	13.9389(16)	2.9531(9)
Cell Volume		311.3306	
Derived Bragg R-Factor		0.08	0.36
FoM	Rp(%)	Rwp(%)	GoF(%)
	20.95	13.01	0.090

Gambar B.7 hasil refinement antara pola difraksi terhitung terhadap pola difraksi terukur pada sampel $\text{Zn}_{0.8}\text{Mg}_{0.2}\text{TiO}_3 + 4\%\text{V}_2\text{O}_5$ dengan suhu sintering 1000°C selama 8 jam.

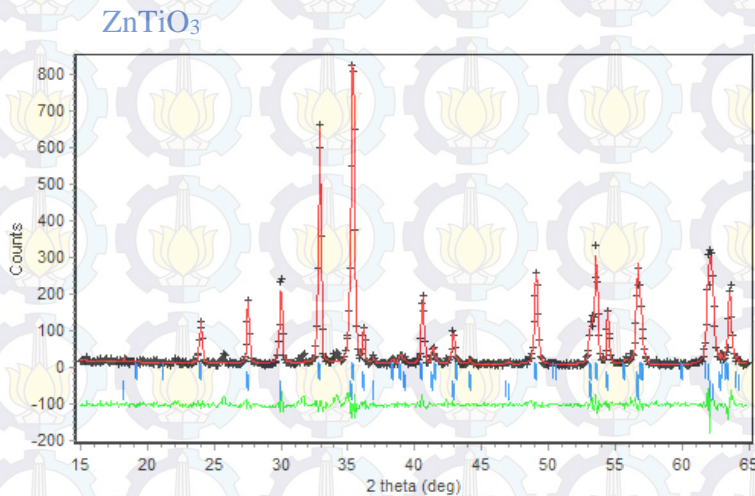
$\text{ZnTiO}_3_4\%\text{V}_2\text{O}_5$



Tabel B.7 Tabel luaran *rietica* untuk sampel $\text{Zn}_{0.8}\text{Mg}_{0.2}\text{TiO}_3 + 4\%\text{V}_2\text{O}_5$ dengan suhu sintering 1000°C selama 8 jam.

Parameter		$\text{Zn}_{0.8}\text{Mg}_{0.2}\text{TiO}_3$	TiO_2
Parameter Kisi	a = b	5.0818(6)	4.6051(8)
	c	13.9539(21)	2.9654(8)
Cell Volume		312.0781	
Derived Bragg R-Factor		0.69	0.03
FoM	Rp(%)	Rwp(%)	GoF(%)
	22.35	11.31	0.144

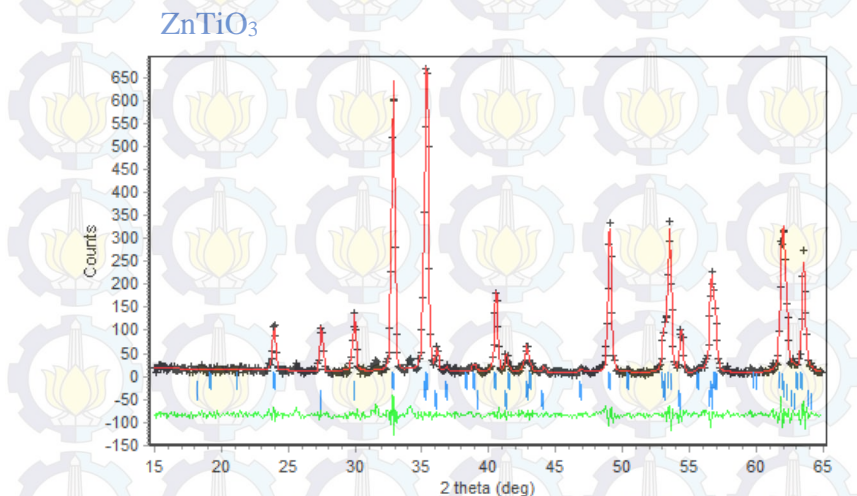
Gambar B.8 hasil refinement antara pola difraksi terhitung terhadap pola difraksi terukur pada sampel $\text{Zn}_{0.8}\text{Mg}_{0.2}\text{TiO}_3$ dengan suhu sintering 1100°C selama 4 jam.



Tabel B.8 Tabel luaran *rietica* untuk sampel $\text{Zn}_{0.8}\text{Mg}_{0.2}\text{TiO}_3$ dengan suhu sintering 1100°C selama 4 jam.

Parameter		$\text{Zn}_{0.8}\text{Mg}_{0.2}\text{TiO}_3$	TiO_2	Zn_2TiO_4
Parameter Kisi	a	5.0837(5)	4.5998(6)	8.4448(11)
	b	5.0837(5)	4.5998(6)	8.4448(11)
	c	13.8925(18)	2.9675(8)	8.4448(11)
Derived Bragg R-Factor		0.57	0.58	1.14
FoM	Rp(%)	Rwp(%)	GoF(%)	
	12.41	8.55	0.046	

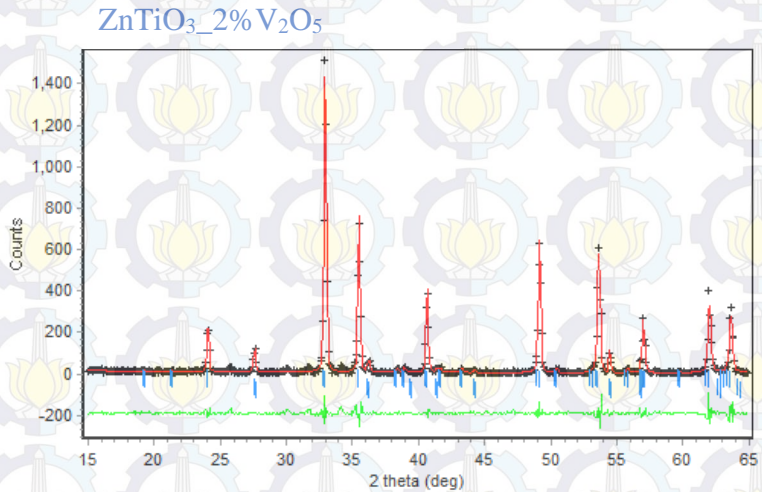
Gambar B.9 hasil refinement antara pola difraksi terhitung terhadap pola difraksi terukur pada sampel $\text{Zn}_{0,8}\text{Mg}_{0,2}\text{TiO}_3$ dengan suhu sintering 1100°C selama 8 jam.



Tabel B.9 Tabel luaran *rietica* untuk sampel $\text{Zn}_{0,8}\text{Mg}_{0,2}\text{TiO}_3$ dengan suhu sintering 1100°C selama 8 jam.

Parameter		$\text{Zn}_{0,8}\text{Mg}_{0,2}\text{TiO}_3$	TiO_2	Zn_2TiO_4
Parameter Kisi	a	5.0819(4)	4.5989(21)	8.4456(9)
	b	5.0819(4)	4.5989(21)	8.4456(9)
	c	13.8986(17)	2.9605(14)	8.4456(9)
Derived Bragg R-Factor		0.22	0.37	0.20
FoM	Rp(%)	Rwp(%)	GoF(%)	
	11.68	8.54	0.041	

Gambar B.10 hasil refinement antara pola difraksi terhitung terhadap pola difraksi terukur pada sampel $\text{Zn}_{0.8}\text{Mg}_{0.2}\text{TiO}_3 + 2\% \text{V}_2\text{O}_5$ dengan suhu sintering 1100°C selama 4 jam.

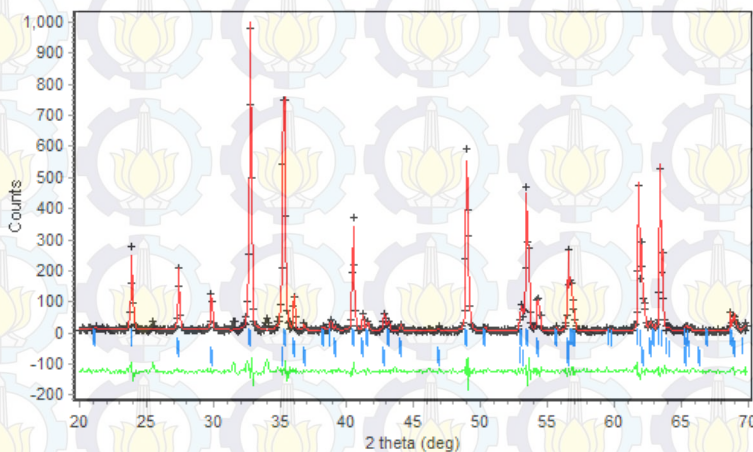


Tabel B.10 Tabel luaran *rietica* untuk sampel $\text{Zn}_{0.8}\text{Mg}_{0.2}\text{TiO}_3 + 2\% \text{V}_2\text{O}_5$ dengan suhu sintering 1100°C selama 4 jam.

Parameter		$\text{Zn}_{0.8}\text{Mg}_{0.2}\text{TiO}_3$	TiO_2
Parameter Kisi	a = b	5.0872(5)	4.5908(12)
	c	13.9617(16)	2.9673(9)
<i>Derived Bragg R-Factor</i>		0.12	0.49
FoM	Rp(%)	Rwp(%)	GoF(%)
	14.26	8.48	0.078

Gambar B.11 hasil refinement antara pola difraksi terhitung terhadap pola difraksi terukur pada sampel $\text{Zn}_{0,8}\text{Mg}_{0,2}\text{TiO}_3 + 2\% \text{V}_2\text{O}_5$ dengan suhu sintering 1100°C selama 8 jam.

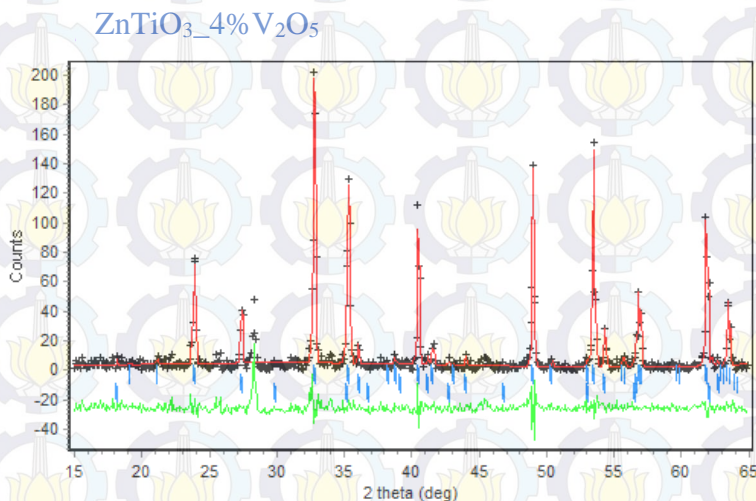
$\text{ZnTiO}_3_2\% \text{V}_2\text{O}_5$



Tabel B.11 Tabel luaran *rietica* untuk sampel $\text{Zn}_{0,8}\text{Mg}_{0,2}\text{TiO}_3 + 2\% \text{V}_2\text{O}_5$ dengan suhu sintering 1100°C selama 8 jam.

Parameter		$\text{Zn}_{0,8}\text{Mg}_{0,2}\text{TiO}_3$	TiO_2	Zn_2TiO_4
Parameter Kisi	a	5.0753(3)	4.5969(7)	8.4467(7)
	b	5.0753(3)	4.5969(7)	8.4467(7)
	c	13.9312(10)	2.9610(5)	8.4467(7)
Derived Bragg R-Factor		0.61	0.12	0.06
FoM	Rp(%)	Rwp(%)	GoF(%)	
	13.35	8.40	0.051	

Gambar B.12 hasil refinement antara pola difraksi terhitung terhadap pola difraksi terukur pada sampel $\text{Zn}_{0.8}\text{Mg}_{0.2}\text{TiO}_3 + 4\% \text{V}_2\text{O}_5$ dengan suhu sintering 1100°C selama 4 jam.

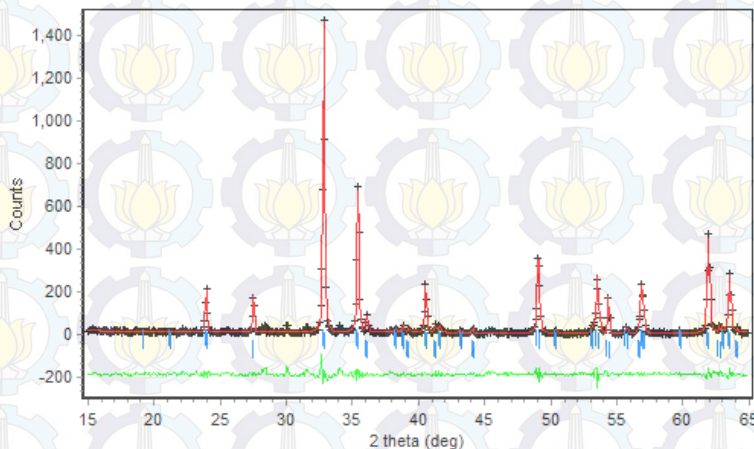


Tabel B.12 Tabel luaran *rietica* untuk sampel $\text{Zn}_{0.8}\text{Mg}_{0.2}\text{TiO}_3 + 4\% \text{V}_2\text{O}_5$ dengan suhu sintering 1100°C selama 8 jam.

Parameter		$\text{Zn}_{0.8}\text{Mg}_{0.2}\text{TiO}_3$	TiO_2
Parameter Kisi	a = b	5.0756(3)	4.5947(9)
	c	13.9253(15)	2.9608(16)
Derived Bragg R-Factor		0.89	0.32
FoM	Rp(%)	Rwp(%)	GoF(%)
	23.71	19.96	0.014

Gambar B.13 hasil refinement antara pola difraksi terhitung terhadap pola difraksi terukur pada sampel $\text{Zn}_{0.8}\text{Mg}_{0.2}\text{TiO}_3 + 4\%\text{V}_2\text{O}_5$ dengan suhu sintering 1100°C selama 8 jam.

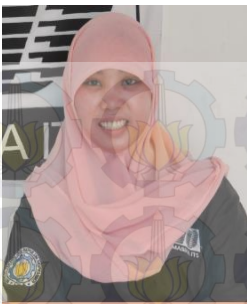
$\text{ZnTiO}_3_4\%\text{V}_2\text{O}_5$



Tabel B.13 Tabel luaran *rietica* untuk sampel $\text{Zn}_{0.8}\text{Mg}_{0.2}\text{TiO}_3 + 4\%\text{V}_2\text{O}_5$ dengan suhu sintering 1100°C selama 8 jam.

Parameter		$\text{Zn}_{0.8}\text{Mg}_{0.2}\text{TiO}_3$	TiO_2
Parameter Kisi	a = b	5.0769(3)	4.5957(6)
	c	13.9197(10)	2.9632(5)
<i>Derived Bragg R-Factor</i>		0.20	0.16
FoM	Rp(%)	Rwp(%)	GoF(%)
	15.17	8.99	0.068





BIODATA PENULIS

Maya Andansari lahir di Sidoarjo, 22 September 1993, anak pertama dari tiga bersaudara dari pasangan Andi Lasiyono dan Endang Ismonowati. Penulis menempuh pendidikan formal di TK Dharmawanita Sidoarjo, SDN Sumokali (1999-2005), SMP Negeri 3 Candi (2005-2008), SMA Negeri 4 Sidoarjo (2008-2011), kemudian penulis diterima di Perguruan Tinggi ITS jurusan Fisika FMIPA melalui jalur SNMPTN Undangan. Penulis aktif dalam Himpunan Mahasiswa Fisika ITS (HIMASIKA ITS) menjabat sebagai staf Departemen PSDM (2012-2013) serta Bendahara Umum (2013-2014). Penulis merupakan asisten laboratorium Fisika Laboratorium (2014). Penulis mengharapkan kritik dan saran mengenai tugas akhir ini melalui email andansari.maya@gmail.com.

